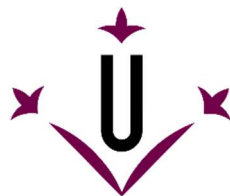


Campus Agroalimentario, Forestal y Veterinario de Cataluña



**Universitat de Lleida**

**TRABAJO FINAL DE GRADO**

# **PRESENCIA ACTUAL DE MICOTOXINAS EN LA ACUICULTURA MEDITERRÁNEA**

Doble titulación: Grado en Veterinaria y Grado en Ciencia y Producción Animal

**Autora: Lúdia Cano Martínez**

Tutor: Dr. Francisco Molino Gahete

Departamento: Ciencia y Tecnología de los Alimentos

**Lleida, Octubre 2020**

## ÍNDICE

Resumen .....	4
Resum .....	5
Abstract .....	6
1 Justificación y motivación .....	7
2 Introducción.....	8
2.1 Micotoxinas.....	9
2.2 Principales micotoxinas .....	12
2.2.1 Aflatoxinas .....	12
2.2.2 Zearalenona .....	13
2.2.3 Tricotecenos.....	14
2.2.4 Fumonisinias .....	15
2.2.5 Ocratoxinas .....	16
2.2.6 Eniatinas y beauvericina .....	17
2.3 Acuicultura mediterránea.....	19
2.3.1 Dorada ( <i>Sparus aurata</i> ).....	20
2.3.2 Lubina ( <i>Dicentrarchus labrax</i> ).....	23
3 Objetivos .....	26
4 Situación actual .....	27
5 Piensos .....	29
5.1 Países productores de pienso .....	31
5.2 Incidencia de contaminación por micotoxinas en muestras de grano.....	35
5.3 Micotoxinas y metabolitos en muestras positivas.....	38
5.4 Riesgo de la presencia de micotoxinas en piensos.....	39
6 Efectos de las micotoxinas .....	42
6.1 Efecto en la salud de los peces y la producción.....	43
6.2 Efectos en los consumidores .....	46
7 Evaluación del riesgo del consumo de micotoxinas a través del consumo de pescado en España .....	48

7.1	Evaluación del riesgo de la ingestión de micotoxinas por pescado .....	48
7.2	Aplicación de la evaluación del riesgo de micotoxinas al consumo de pescado 51	
8	Conclusiones.....	58
9	Bibliografía .....	61
10	Lista de abreviaturas .....	65
11	Índice de tablas .....	67
12	Índice de figuras.....	69

## RESUMEN

Se ha realizado una revisión bibliográfica sobre la presencia de micotoxinas en piensos para acuicultura y su potencial riesgo para la Salud Pública. En España la utilización de piensos acuícolas sigue aumentando (8,4% en 2018 con respecto al año anterior). Un 85,1 % de esos piensos fueron administrados a peces marinos, como dorada (*Sparus aurata*) y lubina (*Dicentrarchus labrax*).

La creciente incorporación de proteína de origen vegetal a los piensos para acuicultura ha obligado a una reformulación de los mismos, constituyendo estas materias primas entre un 50 y un 75% de la dieta. Este aumento trae consigo un incremento del riesgo debido a la ingesta de micotoxinas, lo que puede conllevar una disminución de la productividad piscícola (por casos de toxicidad subclínica) y un aumento de la frecuencia de intoxicaciones por micotoxinas. La detección de estas micotoxinas en piensos desde 2010 está aumentando, encontrándose fumonisinas, deoxinivalenol, zearalenona, aflatoxinas y ocratoxinas en más de la mitad de los piensos comerciales del sur de Europa. Algunos estudios indican que el 94% de los piensos analizados contienen alguna micotoxina. Estos datos han hecho que la cuenca mediterránea sea catalogada como zona de alto riesgo a la presencia de micotoxinas. El maíz y el trigo son los principales ingredientes donde se han encontrado las micotoxinas más importantes.

Por otra parte, la presencia de micotoxinas en los piensos para peces puede conllevar su transferencia al músculo del animal. Así, se ha descrito que la concentración media de aflatoxina B<sub>1</sub> encontrada en músculo de lubina es de 4,25±0,82 ppb. En otras partes anatómicas menos comestibles, esta cantidad es superior, lo que puede suponer un riesgo para los consumidores. La falta de técnicas estandarizadas de análisis en este tipo de matrices y el escaso número de estudios comparativos dificultan la evaluación de este riesgo.

**Palabras clave:** Acuicultura, micotoxinas, materias primas, salud pública.

## RESUM

S'ha realitzat una revisió bibliogràfica sobre la presència de micotoxines en pinsos per aqüicultura i el seu potencial risc per la Salut Pública. A Espanya la utilització de pinsos aqüícoles segueix augmentant (8,4% al 2018 respecte l'any anterior). Un 85,1 % d'aquests pinsos van ser administrats a peixos marins, com l'orada (*Sparus aurata*) i el llobarro (*Dicentrarchus labrax*).

La creixent incorporació de proteïna d'origen vegetal als pinsos per aqüicultura ha obligat a una reformulació dels mateixos, constituint aquestes matèries primes entre un 50 i un 75% de la dieta. Aquest augment porta amb si un increment del risc degut a una ingesta de micotoxines, el que pot comportar una disminució de la productivitat piscícola (per casos de toxicitat subclínica) i un augment de la freqüència d'intoxicacions per micotoxines. La detecció d'aquestes micotoxines en pinsos des de 2010 està augmentant, trobant-se fumonisines, deoxinivalenol, zearalenona, aflatoxines i ocratoxines en més de la meitat dels pinsos comercials del sud d'Europa, arribant fins hi tot alguns estudis a indicar que el 94% dels pinsos analitzats contenen alguna micotoxina. Aquestes dades han fet que la conca mediterrània sigui catalogada com a zona d'alt risc a la presència de micotoxines. El blat de moro i el blat són els principals ingredients a on s'han trobat les micotoxines més importants.

Per una altra part, la presència de micotoxines en els pinsos per peixos pot comportar la seva transferència al múscul de l'animal. Així, s'ha descrit que la concentració mitja d'aflatoxina B<sub>1</sub> trobada al múscul del llobarro és de 4,25±0,82 ppb. En altres parts anatòmiques menys comestibles, aquesta quantitat és superior, el que pot suposar un risc per als consumidors. La falta de tècniques estandarditzades d'anàlisi en aquest tipus de matrius i l'escàs nombre d'estudis comparatius dificulten l'avaluació d'aquest risc.

**Paraules clau:** Aqüicultura, micotoxines, matèries primes, salut pública.

## ABSTRACT

A review of the presence of mycotoxins in feed for aquaculture and its potential risk to Public Health has been carried out. In Spain, the use of aquaculture feeds continues to increase (8.4% in 2018 compared to the previous year). 85.1% of these feeds were administered to marine fish, such as gilthead bream (*Sparus aurata*) and sea bass (*Dicentrarchus labrax*).

The increasing incorporation of vegetable protein in aquaculture feed has forced a reformulation of the same, constituting these raw materials between 50 and 75% of the diet. This increase brings with it an increase risk due to the mycotoxins intake, which can lead to a decrease in fish productivity (due to subclinical toxicity) and an increase in the frequency of mycotoxin poisoning. The detection of these mycotoxins in feed since 2010 is increasing, fumonisins, deoxynivalenol, zearalenone, aflatoxins and ochratoxins were found in more than half of the commercial feeds of southern Europe, and some studies even indicate that 94% of the feeds analyzed contain some mycotoxin. These data have made the Mediterranean basin classified as a high risk zone for the presence of mycotoxins. Corn and wheat are the main ingredients in which the most important mycotoxins have been found.

On the other hand, the presence of mycotoxins in fish feeds can lead to transfer it into the animal's muscle. Thus, it has been described that the average concentration of aflatoxin B1 found in sea bass muscle is  $4.25 \pm 0.82$  ppb. In other less edible anatomical parts, this amount is higher, which can be a risk to consumers. The lack of standardized analysis techniques in this type of matrices and the small number of comparative studies make it difficult to assess this risk.

**Keywords:** Acuaculture , mycotoxins, raw materials, Public Health.

## 1 JUSTIFICACIÓN Y MOTIVACIÓN

El trabajo que se presenta a continuación responde a la necesidad de conocer en profundidad el estado actual de la presencia de micotoxinas en acuicultura mediterránea. En los últimos años el aumento de consumo de pescado procedente de esta forma de cría hace que, como futuros profesionales de la salud animal y pública, nos demos cuenta de la preocupación cada vez mayor por parte de los consumidores sobre la inocuidad de los alimentos que se consumen y sobre los residuos derivados de la producción intensiva convencional. Este trabajo pretende ofrecer una visión acerca de un sector relativamente poco conocido y enlazarlo con un tema de actualidad causante de muchos problemas de salud a largo plazo: las micotoxinas.

Por lo expuesto en el párrafo anterior y con los conocimientos adquiridos a lo largo del doble grado en Ciencia y Producción Animal y Veterinaria, se llevará a cabo un estudio bibliográfico sobre el estado actual de las micotoxinas en los piensos para peces marinos del mediterráneo, la dorada (*Sparus aurata*) y la lubina (*Dicentrarchus labrax*), y se realizará una evaluación del riesgo de ingesta de micotoxinas en la población.

## 2 INTRODUCCIÓN

Actualmente, el consumo de peces procedentes de la acuicultura representa un gran porcentaje dentro del total de la producción de pescado tanto en la Unión Europea como en el mundo. Como indica el informe realizado por la Asociación Empresarial de Acuicultura de España, la producción mundial de acuicultura alcanzó en 2017 los 111,9 millones de toneladas, un 3,5 % más que el año anterior, y superando a la producción de la pesca en 18,3 millones de toneladas (APROMAR, 2019). Estos datos nos dan una idea de la importancia de la acuicultura, que por definición incluye tanto animales como plantas que se cultivan en un ambiente acuático y nos da a entender que la acuicultura no es un complemento de la pesca, sino su evolución natural, como la ganadería en su momento reemplazó a la caza (APROMAR, 2019).

La importancia del sector también se ve reflejada en la cantidad de pienso que se utiliza, aunque este solo represente el 1% del total del destinado a consumo animal en España, en 2018 se utilizaron en España 140.050 toneladas de pienso para acuicultura. Esta cantidad es un 8,4 % superior a la de 2017. El 85,1 % de la misma fue administrado a peces marinos: lubina, corvina, rodaballo, dorada, anguila y lenguado, principalmente (APROMAR, 2019).

Los peces de granja están alimentados con pienso seguro y nutritivo que contiene todo lo necesario para obtener individuos sanos y con buen crecimiento. La proteína forma parte de la mitad de la distribución de la energía digestible en piensos de engorde (con sus variaciones en función de la casa comercial y la formulación) y esta procede de aceites y harinas tanto animales como vegetales. Aunque hace unos años estos aceites y harinas se obtenían de otras fuentes de pescado (mayoritariamente pesca extractiva de descarte) cada vez más la cantidad de proteína vegetal va en aumento en las formulaciones de piensos extorsionados para acuicultura.

Este aumento de proteína vegetal incrementa el riesgo de incorporar micotoxinas en las dietas para acuicultura, ya que el crecimiento de mohos durante el almacenaje de las leguminosas y/o los cereales utilizados para alimentación animal puede pasar desapercibido creando así un riesgo para la Salud Pública al comercializar carne de pescado con posibles trazas de micotoxinas en su músculo.



## 2.1 Micotoxinas

El término “micotoxina” normalmente está reservado a los productos químicos tóxicos producidos por diferentes especies de mohos con capacidad para infectar cosechas en el campo o después de la cosecha y que representan un riesgo potencial para la salud de las personas y los animales a través de la ingestión de alimentos o piensos elaborados a partir de dichas materias primas (AFHSE, 2015). Además las micotoxinas también son tóxicas por inhalación y contacto.

Según la FAO, las pérdidas económicas asociadas con los efectos de las micotoxinas en la salud humana, la productividad animal y el comercio tanto nacional como internacional son significativas. Se estima que el 25% de los cultivos alimentarios mundiales, incluidos muchos alimentos básicos, se ven afectados por mohos productores de micotoxinas. Según las estimaciones de la FAO, las pérdidas mundiales de productos alimenticios debidas a las micotoxinas son del orden de 1000 millones de toneladas al año. Esto, pero, no es nuevo ya que desde hace tiempo que se conocen los efectos de las micotoxinas, un buen ejemplo de enfermedad que estos metabolitos pueden causar en humanos es el ergotismo, que durante la edad medieval afectó a muchas personas en Europa.

Entre los síntomas que originaba en las personas destacaban los ataques de tipo epiléptico y la aparición en las extremidades inferiores de picores tan intensos que parecía que las piernas quemaban y que llevaron a muchos peregrinos a visitar San Antonio en Francia con la esperanza de ser curados (AFHSE, 2015). Esta sensación de quemazón en las extremidades inferiores es lo que dio nombre a la enfermedad como “Fuego de San Antonio”. El origen de esta enfermedad era el consumo de centeno contaminado con el moho *Claviceps purpurea* y en consecuencia por los alcaloides que este produce.

En referencia a los animales y las micotoxinas, el desastre producido por estos metabolitos (concretamente la aflatoxina) que más se recuerda es la muerte de más de 100.000 pavos y otras aves de producción en el Reino Unido en los años sesenta. La muerte de estos animales se achacó al cacahuete que llevaba el pienso con el que se alimentaron.

Estos son sólo dos ejemplos de los potenciales peligros que representan las micotoxinas y que por tanto, justifican las numerosas actuaciones y estudios que se están llevando a cabo en la era actual para controlarlos (AFHSE, 2015).

Nos encontramos con una gran cantidad de micotoxinas: tricotecenos (deoxinivalenol, toxina T-2), zearalenona, fumonisinas, aflatoxinas, ocratoxina etc.

Las micotoxinas son producidas por distintos géneros de mohos, siendo los más destacados: *Aspergillus*, *Fusarium*, *Penicillium* y *Alternaria* (Tabla 1). El hecho de que haya presencia visual de mohos no implica la aparición de micotoxinas, del mismo modo que el hecho de no ver moho en la materia prima no significa que esté libre de micotoxinas.

Tabla 1: Mohos, micotoxinas y alimentos donde se encuentran. Fuente: Sanchís V, Martí S, Ramos AJ (2004).

Moho	Toxina/s	Alimentos
<i>Aspergillus</i>	<b>Aflatoxinas</b>	Maíz, cacahuete, semillas
	Esterigmatocistina	Algodón, arroz, alubias
	<b>Ocratoxina A</b>	Pasas, vino, tejidos de animales
<i>Fusarium</i>	<b>Tricotecenos</b>	Trigo, maíz, arroz, cebada, centeno, avena
	<b>Zearalenona, fumonisinas</b>	
	Fusarina, moniliformina	
	<b>Eniatinas, beauvericina</b>	
<i>Penicillium</i>	Patulina, citrinina	Frutas y zumos, arroz, queso, trigo
	Penitrem A	
	<b>Ocratoxina A</b>	
	Ácido ciclopiazónico	
<i>Alternaria</i>	Altemariol	Frutas, legumbres y productos derivados de manzanas y tomates
	Ácido tennazónico	
	<b>Eniatinas</b>	

Por esto, debido a la susceptibilidad de los piensos a ser contaminados por micotoxinas y a la presencia de estas micotoxinas en los tejidos animales (Tolosa, Font, Mañes, & Ferrer, 2014), es importante desarrollar métodos rápidos, sensibles y reproducibles para la detección de micotoxinas.

Los efectos tóxicos de las micotoxinas en los animales varían, entre otros factores, en función del tipo, la cantidad de toxina y el tiempo en que el animal fue expuesto a estas (Anater et al., 2016).

Además, las micotoxinas tienen un amplio rango de efectos sobre la salud incluyendo efectos carcinogénicos, daño renal, desequilibrios gastrointestinales, desórdenes reproductivos o supresión del sistema inmune (Anater et al., 2016). Los síntomas producidos por las micotoxinas son tan amplios como la variedad de toxinas que generan los mohos y por este motivo es difícil detectar las micotoxicosis.

A groso modo, los animales de abasto que se alimenten con piensos contaminados con micotoxinas durante su vida van a tener un menor crecimiento, una reducción del índice de conversión, una disminución de la respuesta inmune y un aumento de la mortalidad. Esto para el empresario se va a traducir en pérdidas económicas y reclamaciones a los proveedores y por esto, las contaminaciones por micotoxinas toman un papel tan importante en la industria de los piensos.

## 2.2 Principales micotoxinas

### 2.2.1 Aflatoxinas

Las aflatoxinas (AFs) son derivados de difuranocumarina producidos por la ruta policétida por muchas cepas de *Aspergillus flavus* y *A. parasiticus*. *A. flavus* es uno de los mohos más comunes en la agricultura (Gonçalves, Naehrer, & Santos, 2016).

Químicamente, las aflatoxinas (AFs) son cumarinas sustituidas, que contienen anillos de bifurano y configuración tipo lactona, comunes a todas ellas. Existen cuatro aflatoxinas principales, conocidas como B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, G<sub>1</sub> y G<sub>2</sub>. Las AFs B<sub>1</sub> (AFB<sub>1</sub>) y B<sub>2</sub> (AFB<sub>2</sub>) difieren entre ellas por la presencia de un doble enlace más en la primera. Por su parte, la AFG<sub>1</sub> y la AFG<sub>2</sub> difieren entre sí en el mismo detalle estructural (Figura 1). Las AFs del tipo B difieren de las de tipo G porque el anillo de furano de las primeras se convierte en un anillo de lactona en las segundas (Juan et al., 2007).

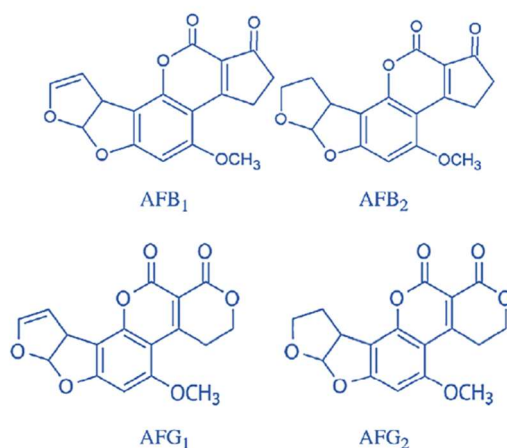


Figura 1: Estructura molecular de las aflatoxinas B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, G<sub>1</sub> y G<sub>2</sub>. Fuente: Marin et al., 2013.

Las AFs son producidas por mohos que se encuentran especialmente en áreas con climas cálidos y húmedos (EFSA, 2007). Es más probable que contaminen nueces del árbol, nueces molidas, higos y otras frutas secas, especias, aceites vegetales crudos, granos de cacao y maíz (EFSA, 2007). También se suelen encontrar en piensos con alto contenido en lípidos y almidón como los cacahuetes o la soja.

Las AFs son muy estables y pueden resistir a procesos bastante severos como el tostado, la extrusión, el horneado y la cocción. Por esta razón pueden ser un problema en los alimentos procesados, como las nueces tostadas y los productos de panadería (Marin et al., 2013).

Las AFs que más comúnmente se encuentran en los piensos para acuicultura son la AFB<sub>1</sub>, AFB<sub>2</sub>, aflatoxina G<sub>1</sub> (AFG<sub>1</sub>) y aflatoxina G<sub>2</sub> (AFG<sub>2</sub>) (Gonçalves et al., 2016).

La AFB1 es el carcinógeno de origen natural más potente descrito hasta la fecha, afectado sobre todo al hígado (hepatocarcinogénica).

Se cree que los efectos biológicos de la AFB1 en las especies acuáticas de producción están directamente vinculados a la concentración de toxina en el alimento, a la edad del animal y a la especie a la que pertenece (Gonçalves et al., 2016).

### 2.2.2 Zearalenona

La zearalenona (ZEN) es un compuesto fitoestrogénico asociado principalmente con varias especies de *Fusarium* como *F. culmorum*, *F. graminearum* y *F. sporotrichioides* (Gonçalves et al., 2016). Esta micotoxina puede encontrarse en la cebada, la avena, el trigo, el sorgo, el mijo y el arroz, pero sobretodo y como su nombre indica la vamos a encontrar en el maíz (*Zea mais*).

Químicamente, la zearalenona es conocida como 6- (10-hidroxi-6-oxo-trans- L-lactona del ácido 1-undecenil) -b-resorcílico (Gonçalves et al., 2016) (Figura 2). La toxicidad de ZEN y algunos de sus metabolitos, especialmente  $\alpha$ -zearalenol ( $\alpha$ -ZOL), está asociada con problemas reproductivos en algunos animales, y posiblemente en humanos, ya que tienen la capacidad de unirse de forma competitiva con los receptores estrogénicos. Compite fuertemente con el 17  $\beta$ -estradiol para unirse a los receptores citosólicos de estrógeno presentes en el útero, hipotálamo, y glándulas mamaria y pituitaria (Josefa Tolosa Chelós, 2017).

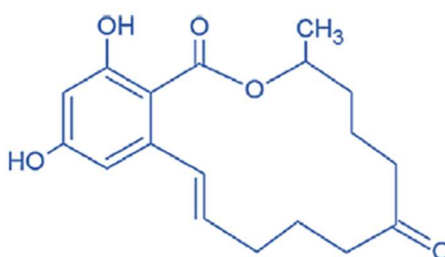


Figura 2: Estructura molecular de la zearalenona. Fuente: Marin et al., 2013.

De manera similar en animales ovíparos, incluidos peces, la ZEN imita la acción del estrógeno natural, 17 $\beta$ -estradiol, por se une a los receptores de estrógenos de las células y activa genes sensibles que codifican los principales elementos estructurales del oocito (Chen et al., 2010).

### 2.2.3 Tricotecenos

Los tricotecenos son compuestos procedentes de los especies de mohos pertenecientes principalmente al género *Fusarium*, como por ejemplo *Fusarium sporotrichioides*, *F. poae*, *F. equiseti*, *F. graminearum* y *F. culmorum*. Aunque también podemos encontrar tricotecenos producidos por los mohos de las familias *Trichothecium* y *Myrothecium*.

Químicamente, los tricotecenos son compuestos que contienen anillos sesquiterpenoides caracterizados por un núcleo 12,13-epoxy-tricotec-9-ene (Gonçalves et al., 2016) (Figura 3).

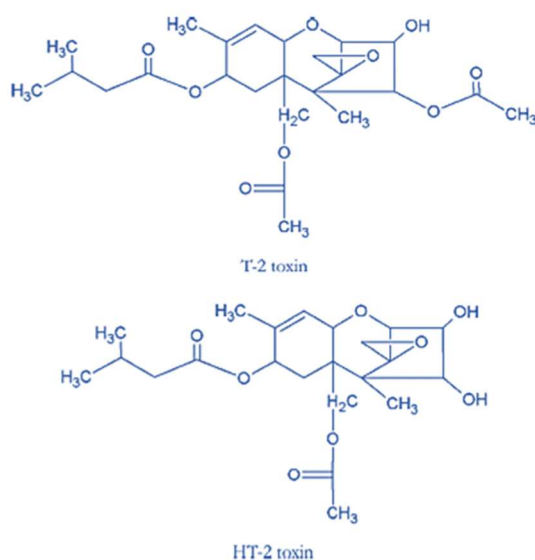


Figura 3: Estructura molecular de las toxinas T-2 y HT-2. Fuente: Marin et al., 2013.

Hay descritos más de 45 tipos de tricotecenos, y englobados en cuatro grupos: A, B, C, y D. Dentro del grupo A encontramos las toxinas T-2 y la HT-2, que causan sepsis, hemorragias y pancitopenia general. Dentro de este grupo (A) también se sitúan el diacetoxiscirpenol y el neosolaniol entre otras. En el grupo B tenemos al deoxinivalenol y el nivalenol.

Los alimentos comúnmente contaminados con tricotecenos comprenden diferentes tipos de cereales y granos, principalmente trigo, maíz, cebada, avena y arroz y los productos elaborados con estas materias primas (Marin et al., 2013).

Una de las toxinas que se encuentran más frecuentemente en los granos es el deoxinivalenol (DON) y puede causar problemas gastrointestinales y alteración de la respuesta inmune. Todo esto irá acompañado de una disminución de la ingesta de alimento y disminución del crecimiento.



Figura 4: Truchas arco iris con diferencias visuales en el crecimiento entre diferentes dietas. De izquierda a derecha: Control, DON 5 (4,5 ppm DON) y DON 11 (10,5 ppm DON). No se observan signos clínicos excepto la acentuada anorexia en DON 11. Fuente: Gonçalves et al., 2018.

Para el caso concreto de la acuicultura, la ingestión de dietas con contenido de DON se ha asociado a grandes retrasos en el crecimiento, en la disminución del consumo de pienso y conversión de este y de la proteína y energía utilizadas como se observa en la Figura 4.

#### 2.2.4 Fumonisin

Las fumonisinas (FBs) son producidas principalmente por un gran número de especies de *Fusarium*, especialmente *F. verticillioides*, *F. proliferatum* y *F. nygamai* (Gonçalves et al., 2016).

Químicamente, esta toxina corresponde al ácido 1,2,3-propanetricarboxylic1,1-[1-(12-amino-4,9,11-trihydroxy-2-methyltridecyl)-2-(1-methylpentyl)-1,2-ethanediyl]ester (Marin et al., 2013) (Figura 5).

En la actualidad se han identificado más de 12 variantes de FBs (Tolosa, 2017) Según los grupos químicos presentes a lo largo de la cadena lineal, se pueden clasificar en cuatro series: A, B, C y P dentro de las cuales resultan especialmente tóxicas las pertenecientes a la serie B, ya que además son las que mayoritariamente se detectan en alimentos (Tolosa, 2017).

La micotoxina que se produce más abundantemente de la familia *Fusarium* es la fumonisina B<sub>1</sub> (FB1).

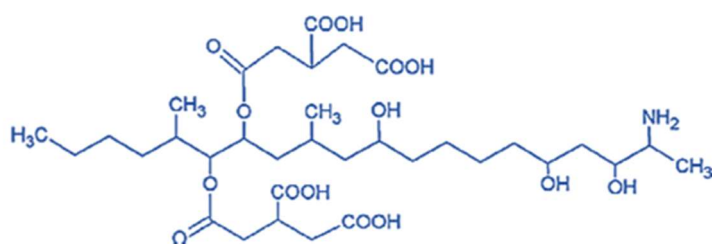


Figura 5: Estructura molecular de la Fumonisin B. Fuente:(Marin et al., 2013).

Las FBs son las micotoxinas que se encuentran más frecuentemente en el maíz, particularmente cuando este crece en regiones cálidas (Marin et al., 2013).

Las FBs se forman en el maíz antes de la cosecha o durante la etapa inicial de almacenamiento (Marin et al., 2013). Excepto en condiciones extremas, la concentración de FBs no aumenta en el almacenamiento (Marin et al., 2013). Estas micotoxinas son bastante estables al calor y el contenido de toxinas se reduce significativamente solo durante los procesos en los que la temperatura supera los 150 °C (Marin et al., 2013).

Las FBs inhiben la esfingosina N-Acyltransferasa (ceramida sintetasa), una enzima clave en el metabolismo de los lípidos, que resulta en una disrupción de esta ruta (Gonçalves et al., 2016).

En acuicultura la FB1 daña el metabolismo de los esfingolípidos y también se ha asociado con la reducción de la tasa de crecimiento, el consumo de alimento y el ratio de conversión del alimento.

### 2.2.5 Ocratoxinas

Las ocratoxinas son metabolitos producidos por las especies de mohos de los géneros *Aspergillus* y *Penicillium*. La primera especie donde se aisló esta toxina fue en *Aspergillus ochraceus* y de aquí el nombre de ocratoxina.

La ocratoxina A (OTA) es el miembro más tóxico de las ocratoxinas (Marin et al., 2013).

Químicamente, la OTA es una fenilalanina derivada de la isocoumarina (R)-N-[5-cloro-3,4-dihidro-8-hidroxi-3-metil-1-oxo-1H-2-benzopirano-7-yl]-L-fenilalanina substituida (Marin et al., 2013) (Figura 6).



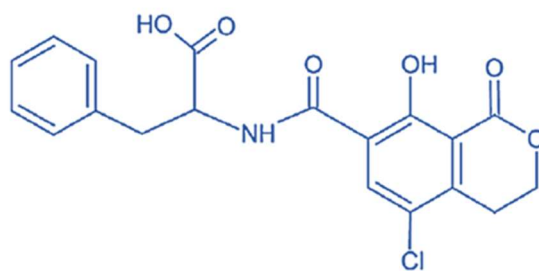


Figura 6: Estructura molecular de la ocarotoxina A. Fuente: Marin et al., 2013.

Esta toxina es producida por *A. ochraceus* en regiones de climas tropicales y por *Penicillium verrucosum* en almacenamiento en el este y el noreste de Europa, principalmente. En el arroz, el trigo la cebada o el maíz y los productos derivados de estos es donde más la encontramos. Además, la OTA es un compuesto que no se destruye con los métodos comunes de preparación de alimentos (Marin et al., 2013).

La OTA es una micotoxina nefrotóxica y eso causa toxicidad renal y posee propiedades carcinogénicas, teratogénicas y existe la posibilidad de que también tenga propiedades neurotóxicas (Marín, Sanchis, & Ramos, 2018).

Por lo que a peces de acuicultura se refiere, la OTA produce poca supervivencia, hematocritos bajos, un mal índice de conversión y bajas ganancias de peso, además también reduce una severa degeneración y necrosis del riñón y del hígado.

#### 2.2.6 Eniatinas y beauvericina

A este grupo de toxinas se las llama micotoxinas emergentes de *Fusarium*. Este grupo debe su nombre a que fueron descubiertas con posterioridad a otras micotoxinas del género *Fusarium* y a que en la actualidad se dispone de pocos datos sobre su toxicidad (EFSA, 2014).

Químicamente, las eniatinas son hexapéptidos cíclicos consistentes en tres residuos de ácido D-2-hidroxicarboxílico y ácido N-metilamino alternantes sintetizadas (Figura 7), principalmente, por los géneros *Fusarium*, *Alternaria*, *Halosarpheia* y *Verticillium* (Josefa Tolosa Chelós, 2017).

La beauvericina (BEA) es un ciclohexapéptido con propiedades insecticidas capaz de inducir apoptosis en células de mamíferos y con propiedades antibióticas frente

a bacterias gram-positivas y micobacterias. Fue aislada en primer lugar de cultivos de *Beauveria bassiana*, pero también es producida por otros mohos, entre ellos varias especies de *Fusarium* (Tolosa, 2017).

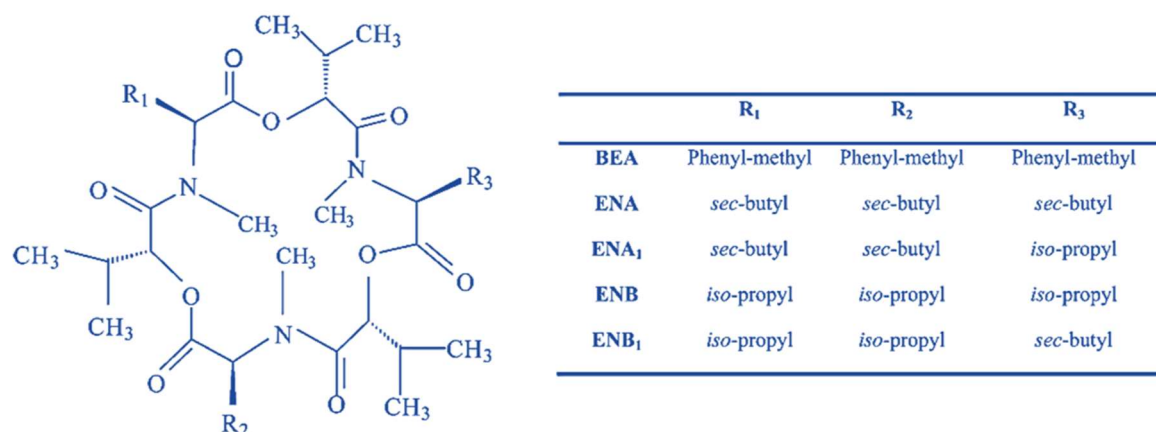


Figura 7: Estructura molecular de la beauvericina y las eniatinas: Eniatina A (ENA), eniatina A<sub>1</sub> (ENA<sub>1</sub>), eniatina B (ENB), eniatina B<sub>1</sub> (ENB<sub>1</sub>), beauvericina (BEA). Fuente: (Tolosa et al., 2014).

La BEA y las eniatinas se encuentran principalmente en los granos de cereal y los productos derivados de estos, además también se pueden encontrar en frutos secos, plátanos y plantas medicinales.

En peces, las micotoxinas pueden producir varios trastornos como cambios en la reabsorción de nutrientes, inducen alteraciones en las células y el organismo, y tienen efectos funcionales y morfológicos, que en los casos más severos desembocan en mortalidad (Tolosa et al., 2014).

### 2.3 Acuicultura mediterránea

La producción más o menos controlada de especies acuáticas tiene casi la misma antigüedad que el resto de producciones ya que hace más de tres mil años en la China ya se hacía engorde de carpas en lagunas, balsas artificiales o arrozales y en los conventos europeos de la Edad Media también contaban con fuentes o instalaciones rudimentarias dedicadas al engorde de peces que les servía de abasto de proteínas durante la época de cuaresma pero no fue hasta el siglo XIV que un monje francés consiguió cerrar el ciclo biológico de la trucha pudiendo dar paso a la piscicultura propiamente dicha.

Pese a todo lo anterior, y habiéndose realizado durante diferentes años distintas pruebas en Japón y Canadá, no fue hasta después de la Segunda Guerra Mundial (1939-1945) cuando se mejoraron las técnicas de reproducción y alimentación pudiendo así llevar a cabo una acuicultura más intensiva con determinadas especies.

El inicio de la acuicultura marina moderna en España puede situarse en la constitución de dos empresas privadas el año 1993, Finisterre Mar y Tinamenor S.A., que se iniciaron cultivando moluscos (González Serrano, n.d.).

Las lubinas fueron cultivadas históricamente en lagunas costeras y en embalses de marea antes que comenzara la carrera por desarrollar la producción masiva de juveniles iniciada a fines de los 1960s. El cultivo de peces estuvo inicialmente asociado con la producción de sal por evaporación en bateas y pantanos costeros. La sal era recolectada durante la estación de alta evaporación de verano y otoño y los peces eran cultivados durante invierno y primavera. El suministro para este cultivo provenía de la interceptación y captura de cardúmenes de peces que vivían en estas áreas estuarias (Bagni, Crespi, & New, 2009).

A finales de los 1960s, Francia e Italia competían por desarrollar técnicas confiables de producción masiva de juveniles de lubina y, a finales de los 1970s, estas técnicas fueron suficientemente bien desarrolladas en la mayoría de los países mediterráneos para proveer cientos de miles de larvas. La lubina (*Dicentrarchus labrax*) fue la primera especie marina no salmónida que se cultivó comercialmente en Europa y actualmente es el pez comercial más importante y ampliamente cultivado en las áreas mediterráneas. Grecia, Turquía, Italia, España, Croacia y Egipto son los principales productores (Bagni et al., 2009).

Tradicionalmente, las doradas eran cultivadas extensivamente en lagunas costeras y estanques de agua salada, hasta que se desarrollaron sistemas intensivos de crianza durante los 1980s. El cultivo en valli o 'vallicoltura' italiana o el 'hosha' de Egipto son

sistemas extensivos de crianza de peces que actúan como trampas naturales de peces, sacando ventaja de la migración trófica natural de los juveniles desde el mar a las lagunas costeras, igual como ocurre con la “Encanyissada” o la “Tancada” en el Delta del Ebro.

Las doradas son especies muy apropiadas para acuicultura extensiva en el Mediterráneo, debido a su buen precio de mercado, alta tasa de supervivencia y hábitos de alimentación (que son relativamente bajos en la cadena trófica) (Patent Co., 2009).

La reproducción artificial se consiguió en Italia entre 1981–82, y la producción a gran escala de juveniles de dorada entre 1988–1989 se consiguió en España, Italia y Grecia. Esta especie demostró muy rápidamente una alta adaptabilidad a las condiciones de crianza intensiva en ambos, estanques y jaulas y su producción anual aumentó regularmente hasta 2000, cuando alcanzó un máximo de sobre 87.000 toneladas (Patent Co., 2009).

### 2.3.1 Dorada (*Sparus aurata*)

La dorada, *Sparus aurata*, pertenece a la familia de los espáridos y en la actualidad es el pez de agua salada más cultivado en el mediterráneo (Ortega, 2008).

#### *Morfología*

Tal y como la FAO nos describe la dorada, se trata de un pez con cuerpo oval, más bien profundo y comprimido. El perfil de la cabeza es regularmente curvado, tiene los ojos pequeños y la boca baja, muy levemente oblicua con los labios gruesos. Posee de 4 a 6 dientes anteriores de tipo caninos en cada mandíbula, seguidos posteriormente por dientes romos, los cuales se hacen progresivamente como molares y se disponen de 2 a 4 filas (los dientes en las 2 filas externas más fuertes).

El total de branquiespinas sobre el primer arco corto es de 11 a 13, 7 u 8 inferiores y 5 (raramente 4) a 6 superiores. La aleta dorsal tiene 11 espinas y 13 a 14 rayos blandos, y la anal con 3 espinas y 11 o 12 rayos blandos (Colloca & Cerasi, 2009).

La dorada tiene las mejillas escamosas y el preopérculo sin escamas. A lo largo de la línea lateral posee de 73 a 85 escamas. Es un animal de color gris plateado con una mancha negra en el origen de la línea lateral, extendiéndose sobre el margen superior del opérculo donde está bordeada abajo por un área rojiza (Figura 8).

También tiene una banda frontal dorada entre los ojos, bordeada por dos áreas oscuras (no bien definidas en los individuos jóvenes) y líneas longitudinales oscuras a menudo presentes sobre los costados del cuerpo. También una banda oscura sobre la aleta dorsal, y la horquilla y puntas de la aleta caudal bordeadas con negro (Colloca & Cerasi, 2009).



Figura 8: Ilustración de un ejemplar de *Sparus aurata*. Fuente: (Colloca & Cerasi, 2009).

### Hábitat

*Sparus aurata* es común en el mar Mediterráneo, presente también a lo largo de las costas del Atlántico del este desde Gran Bretaña a Senegal y rara en el mar Negro (Colloca & Cerasi, 2009). Debido a sus hábitos eurihalinos y euritérmicos, la especie se encuentra tanto en ambientes marinos y salobres, tales como lagunas costeras y áreas estuarias, en particular durante las etapas iniciales de su ciclo de vida (Colloca & Cerasi, 2009). Los peces jóvenes permanecen en áreas relativamente poco profundas (hasta 30 m), mientras que los adultos pueden alcanzar aguas más profundas, generalmente no más de 50 m (Colloca & Cerasi, 2009).

### Reproducción y cría intensiva

Generalmente, cada eclosionadora tiene su propia unidad de reproducción, donde los reproductores de varios grupos de edad, desde machos de 1 año de edad hasta hembras de 5 años, son mantenidos bajo condiciones de siembra de largo plazo. Los reproductores pueden provenir ya sea desde una granja o de la naturaleza (Colloca & Cerasi, 2009).

Las doradas son una especie hermafrodita proterándrica, es decir a lo largo de su vida cambian de sexo. Alcanzan su madurez sexual a los 300 gr siendo machos a los 2 kg todos los individuos son hembras, realizando el cambio de sexo entre el medio quilo y el quilo.

Los reproductores se aposentan en tanques de 20 m<sup>3</sup> a una densidad de 5 kg /m<sup>3</sup> con control de fotoperiodo, temperatura y oxígeno. Estos parámetros conjuntamente con el pienso especial para reproductores servirán para que los peces alcancen la madurez.

El hecho de tener distintos tanques hace que se puedan obtener puestas de uno a dos meses por tanque y lo que se hace es ir reduciendo el fotoperiodo, que en el caso de la dorada para este objetivo es de 10:14, y la temperatura se reduce medio grado cada 15 días durante unos 3 meses hasta que el agua alcanza aproximadamente los 14 °C.

Una vez los animales están maduros, se les mira el sexo con un masaje abdominal y se intenta que la sex ratio no supere un macho por cada dos ya que el control de la proporción de sexos en los tanques de desove es un factor muy importante para la dorada y se necesita tomar precauciones porque el cambio de sexo está determinado socialmente. La presencia de machos jóvenes al final del período de desove, por ejemplo, aumenta el número de peces más viejos que se convierten en hembras. Por otro lado, la ocurrencia de hembras más viejas reduce el cambio de sexo en peces más jóvenes (Colloca & Cerasi, 2009).

En el caso que no se iniciase el desove, lo que se hace es inyectar a las hembras hormonas hipofisarias (GnRH o análogos de la LHRH). Iniciado el desove cada día se recogen los huevos y se descartan los no viables y en el caso de la dorada los huevos se ponen directamente en el tanque donde crecerán los alevines.

### Comercialización

A nivel Mediterráneo, el principal mercado para la dorada es Italia, donde se consumen unas 50.500 toneladas anuales. Los siguientes tres mercados son Turquía (26.432 t.), España (23.161 t.), Grecia (13.980 t.) y Francia (15.039 t.)

La comercialización de la dorada de acuicultura se realiza principalmente a través de supermercados y grandes superficies. Las pescaderías tradicionales (comercio especializado) son la tercera vía de venta. Existe también comercialización a través del canal extra doméstico Horeca (Hostelería, Restauración y Catering), pero la mayor parte del consumo se realiza en los hogares (80% aproximadamente) (APROMAR, 2019).

El precio medio en primera venta de dorada de acuicultura producida en España en 2018 fue de 4,41 euros/kg. Esta cifra es un -9,5 % inferior al precio medio de 2017. El valor total de las 14.930 toneladas de dorada española comercializada ha sido de 65,8 millones de euros (APROMAR, 2019).

### Consumo en España

En referencia al consumo de dorada en los hogares españoles en el año 2018, éste se incrementó un 5,0 % respecto al año anterior, alcanzando 27.100 toneladas, según el Panel de Consumo del MAPA. Esta cifra significaría el consumo en hogares de 600 g de dorada por persona (en kg equivalentes de peso vivo) en 2018, es decir, tan sólo dos raciones al año (APROMAR, 2019).

#### 2.3.2 Lubina (*Dicentrarchus labrax*)

La lubina, *Dicentrarchus labrax*, pertenece a la familia moronidae y en la actualidad es de los peces de agua salada más cultivados en el arco mediterráneo.

### Morfología

Según la descripción de la FAO se trata de una especie con el cuerpo más bien alargado, un opérculo con dos espinas planas y preopérculo con espinas grandes dirigidas hacia delante sobre su margen inferior.

Tiene la boca en posición terminal, moderadamente protráctil. Dientes vomerianos en una banda semicircular, sin una extensión hacia atrás sobre la línea media del techo de la boca (Bagni et al., 2009). Las dos aletas dorsales se encuentran separadas, la primera consta de 8 a 10 espinas y la segunda de 1 espina y 12 o 13 rayos blandos. La aleta anal tiene 3 espinas y de 10 a 12 rayos blandos (Bagni et al., 2009).

Las escamas son pequeñas, la línea lateral suele tener de 62 a 74 escamas pero sin extenderse sobre la aleta caudal, además esta es moderadamente bifurcada (Bagni et al., 2009). Se trata de un pez de cuerpo gris plateado a azulado, plateado sobre los costados y vientre a veces teñido con amarillo (Figura 9). Los juveniles tienen algunos puntos oscuros sobre la parte superior del cuerpo, pero no es así en los adultos, que solo tienen un punto difuso sobre el borde del opérculo (Bagni et al., 2009).

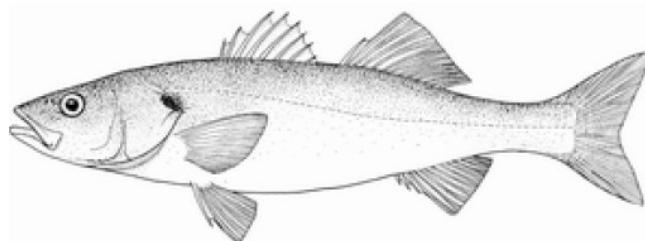


Figura 9: Ilustración de un ejemplar de *Dicentrarchus labrax*. Fuente: FAO 2009.

### *Hábitat*

Se trata de una especie litoral pelágica que se distribuye de forma natural por las costas orientales del océano Atlántico, canal de la Mancha y mar Báltico, desde Noruega hasta Marruecos, y por todo el mar Mediterráneo (APROMAR, 2019).

Las lubinas son euritérmicas (5-28 °C) y eurihalinas, soportando salinidades de 3‰, así ellas son capaces de frecuentar aguas costeras interiores, estuarios y lagunas de aguas salobres. Algunas veces se aventuran río arriba en agua dulce (Bagni et al., 2009).

### *Reproducción y cría intensiva*

El sistema de reproducción de la lubina es muy similar al de la dorada. En el caso de *Dicentrarchus labrax*, la edad óptima para las hembras reproductoras es entre cinco y ocho años, mientras que para los machos este margen es menor de 2-4 años (Bagni et al., 2009).

Las lubinas, tienen sexos separados, es decir, a diferencia de la dorada no son hermafroditas y la hembra acostumbra a ser más grande que el macho.

Los reproductores, como ya se ha explicado con anterioridad, se aposentan en tanques de 20 m<sup>3</sup> a una densidad de 5kg /m<sup>3</sup> con control de fotoperiodo, temperatura y oxígeno. Como con la dorada, lo que se hace es ir reduciendo el fotoperiodo, que en el caso de la lubina para este objetivo es de 15:10 y la temperatura se reduce medio grado cada 15 días durante unos 3 meses hasta que el agua alcanza aproximadamente los 14 °C.

Una vez los animales están maduros, se les mira el sexo. Esto se hace con un masaje abdominal a los machos y con mediante una cánula a las hembras y se intenta que la sex ratio no supere un macho por cada dos hembras. En el caso que no se iniciase el desove de forma natural, a las hembras se les inyectan hormonas hipofisarias (GnRH o análogos de la LHRH).

Una vez iniciado el desove se recogen los huevos cada día y se descartan los no viables y en el caso de la lubina los huevos se ponen en una incubadora que está a 14,5 °C y una vez eclosionados, se pasan los alevines al tanque.

### *Comercialización*

Una de las más grandes historias de éxito en la acuicultura europea ha sido la industria mediterránea de la lubina, la que en menos que 15 años creció desde unos pocos miles de toneladas a 196.573 toneladas hoy día (2018), habiendo alcanzado un máximo



cercano a 71 000 toneladas en 2000. Cuando la lubina cultivada comenzó a llegar al mercado a fines de los 1980s y principio de los 1990s, la calidad de cultivo fue vista como complemento de la especie silvestre y los precios eran muy altos (Bagni et al., 2009).

Los principales mercados internacionales para la lubina son Italia y España, donde se consumen aproximadamente 39.800 y 28.360 toneladas anuales respectivamente.

Los siguientes mercados son Turquía (20.000 t.), Grecia (9.840 t.) y Francia (9.483 t.) (APROMAR, 2019).

La comercialización de la lubina de acuicultura, al igual que la de dorada, se realiza principalmente a través de supermercados y grandes superficies. El canal especializado (pescaderías tradicionales) es la tercera vía de venta. Existe también comercialización a través del canal Horeca (Hostelería, Restauración y Catering), pero la mayor parte del consumo se produce en los hogares (80% aproximadamente) (APROMAR, 2019).

El precio medio en primera venta de lubina de acuicultura producida en España en 2018 fue de 4,68 euros/kg. Esta cifra es un -0,1 % inferior al precio medio del año anterior. El valor total de las 22.460 toneladas de lubina española comercializada ha sido de 104,2 millones de euros (APROMAR, 2019). Los precios del producto silvestre pueden haber sufrido inicialmente, en la medida que los volúmenes de la acuicultura continuaron creciendo, pero hoy día hay una clara distinción en el mercado entre el producto silvestre y el cultivado, con los precios de la lubina silvestre varias veces más altos que aquellos del pez cultivado (Bagni et al., 2009).

#### *Consumo en España*

El consumo de lubina en los hogares españoles aumentó en 2018 en un 13,5 % en cantidad respecto de 2017, quedando en 24.400 toneladas. Esta cifra significaría el consumo en hogares de 500 g de lubina por español en 2018 (APROMAR, 2019).

### **3 OBJETIVOS**

El foco principal de este trabajo es hacer una revisión bibliográfica sobre la presencia de micotoxinas en piensos para acuicultura en el mediterráneo. Para ello se fijaron los siguientes objetivos:

- Estudiar la presencia de micotoxinas en dietas para peces.
- Valorar el riesgo de la presencia de micotoxinas en acuicultura.
- Evaluación del riesgo de la ingesta de micotoxinas por ingesta de pescado.

#### 4 SITUACIÓN ACTUAL

La completa eliminación de la harina de pescado y del aceite de pescado es necesaria para promover el desarrollo sostenible de la acuicultura y para eso es necesario que haya peces con capacidad de crecer rápido y con buena calidad sin necesidad de ser alimentados con harina y aceite de pescado (Izquierdo et al., 2015). Aunque se está trabajando para que este punto pueda llevarse a la industria piscícola lo cierto es que actualmente la industria de la acuicultura usa un 70-80% de toda la harina de pescado que se produce (BIOMIN 2020). Sin embargo, la incorporación de proteína vegetal a los piensos para acuicultura puede constituir entre un 50 y un 75% de su dieta y esto reduce la demanda mundial de harina y aceite de pescado (Figura 10). Este aumento trae consigo un incremento del riesgo debido a la ingesta de micotoxinas, y por consiguiente una disminución de la productividad piscícola.

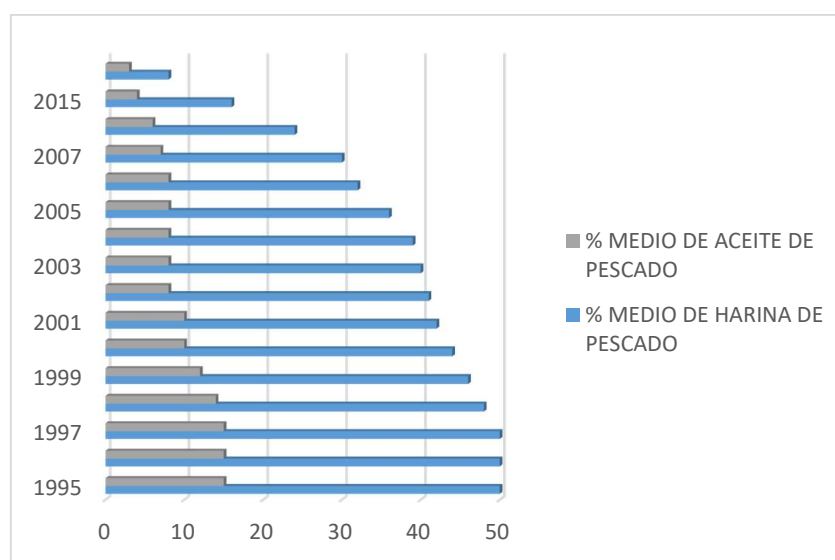


Figura 10: Uso y demanda global estimada en miles de toneladas para harina y aceite de pescado que componen los piensos para piscicultura de agua salada des de 1995 hasta 2020. Datos obtenidos de la tabla 4 de Tacon & Metian, 2008.

La detección de estas micotoxinas en piensos desde 2010 está aumentando, encontrándose DON, FM, ZEN, AFs y OTA en más de la mitad de los piensos comerciales del sur de Europa llegando incluso en algunos estudios a indicar que el 95% de los piensos analizados contienen alguna micotoxina (originada principalmente por *Fusarium* spp.). Además, en el 95% de los casos concurren al menos diez micotoxinas y sus metabolitos. Estos datos han hecho que la cuenca mediterránea sea catalogada como “zona de riesgo severo” a la presencia de micotoxinas.

La falta de técnicas estandarizadas para el análisis de micotoxinas en músculo de pescado y el escaso número de estudios comparativos dificultan la evaluación del riesgo que supone la posible transferencia de estas toxinas al músculo de los peces.

El consumo per cápita medio de productos acuáticos en la Unión Europea es de aproximadamente 24,3 kilogramos (en equivalentes de pescado entero) en el año 2016 pero muestra enormes diferencias entre estados y regiones (APROMAR, 2019), por ejemplo en Hungría el consumo es de 5,2 kg/año y en cambio en Portugal es de 57 kg/año. En el año 2018, el consumo de productos acuáticos en los hogares españoles cayó un 2,4 % respecto al año 2017 (APROMAR, 2019). No existe una estadística clara sobre el consumo de productos acuáticos per cápita en España, si bien la Comisión Europea lo sitúa en 45,7 kg/habitante/año, el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación sitúa el consumo per cápita de los alimentos que engloba el total pesca en los 23,07 kilos/persona/año en 2018, una cantidad un 2,8% menor respecto a 2017 y de entre los diferentes productos, el más consumido son los pescados frescos, con una ingesta media de 10,07 kg/habitante/año (Ministerio de Agricultura, 2019). Aunque hay una falta de consenso en cuanto a los datos de consumo, el incremento de pescado de acuicultura en la mesa de los consumidores puede suponer en los próximos años un riesgo para la salud humana.

## 5 PIENSOS

La industria del pienso es muy importante a nivel mundial, sobre todo en aquellos países productores de materias primas para la producción de estos o para aquellos que cuentan con una gran cantidad de animales de abasto.

Si observamos los datos obtenidos de la encuesta global de Alltech del año 2020 (Tabla 2), podemos concluir que la producción de pienso del año 2019 disminuyó un 1% con respecto a la del 2018. La región con una mayor disminución en la fabricación de piensos fue oriente medio con un 5,8% menos, mientras que Europa la producción aumentó un 0,2% por lo que podemos intuir una estabilidad en la producción. El crecimiento más alto en millones de toneladas es el de África, con un porcentaje de cambio del 7,5% lo que supone una diferencia positiva de 3 millones de toneladas.

Tabla 2: Millones de toneladas de pienso producidas los años 2018 y 2019 por regiones. Fuente: Alltech, 2020b.

Región	Millones de toneladas en 2018	Millones de toneladas en 2019	Porcentaje de cambio
África	40.7	43.7	7.5%
Asia-Pacífico	384.5	363.2	-5.5%
Europa	278.8	279.2	0.2%
América Latina	164.3	167.9	2.2%
Oriente medio	27.6	26.0	-5.8%
Norte América	232.2	236.0	1.6%
Oceanía	10.7	10.5	-1.3%
<b>Total</b>	<b>1,138.2</b>	<b>1,126.5</b>	<b>-1.0%</b>

En cuanto a la producción de pienso desglosada por especies vemos que el mayor porcentaje es el del pienso para pollos de engorde con un 29,55% de la producción total de piensos seguido de cerca por el pienso para cerdos que es de un 25,09% (Tabla 3).

Tabla 3: Producción de pienso por especies. Datos obtenidos de Alltech 2020.

Especie	Millones de toneladas	%
Cerdos	260,9	25,09
Vacas de leche	129,9	12,49
Ternera	115,4	11,10
Gallinas ponedoras	157,7	15,16
Pollos de engorde	307,3	29,55
Acuicultura	41,0	3,94
Mascotas	27,7	2,66

La alimentación de los animales de acuicultura, en particular los peces, es un elemento clave de su viabilidad. La optimización del uso de las materias primas, el conocimiento sobre los nutrientes, su digestibilidad y el correcto manejo del pienso son esenciales para el desarrollo responsable de esta actividad (APROMAR, 2019). Observando la escena global, el 3,94% del pienso producido, es decir, 41 millones de toneladas son producidas para la acuicultura, y estos deberían desglosarse en los destinados a crustáceos, a piscicultura continental y a piscicultura de agua salada.

En 2018 se utilizaron en España 140.050 toneladas de pienso de acuicultura y el 85,1 % de la misma fue administrado a peces marinos: lubina, corvina, rodaballo, dorada, anguila y lenguado, principalmente. Y el 14,9 % restante a especies continentales como trucha y esturión (APROMAR, 2019).

Contrariamente a la disminución global de producción de pienso, el alimento para acuicultura creció un 4% en 2019 (Alltech, 2020a). La región de Asia-Pacífico fue la que creció más por tonelada (Tabla 4), produciendo 1.5 millones de toneladas adicionales sobre el año 2018. Los principales contribuyentes a este crecimiento fueron China, Vietnam y Bangladesh. En Europa la disminución se debe, en gran parte, a una disminución en la producción de piensos en Rusia, que puede atribuirse principalmente a un aumento de las importaciones (Alltech, 2020a).

Tabla 4: Millones de toneladas de pienso producido para acuicultura por regiones. Adaptación de Alltech 2020 y Alltech 2018.

Región	2017	2019
África	1.6	0.6
Asia-Pacífico	26.7	30.0
Europa	5.9	3.8
América Latina	3.6	4.2
Oriente medio	0.3	0.5
Norte América	1.8	1.77
Oceanía	-	0.2

### 5.1 Países productores de pienso

En el siguiente apartado se desglosará la producción mundial de pienso por países, para tener una visión global y se hará hincapié en los países que rodean el Mar Mediterráneo.

Aunque como hemos visto en el punto anterior la principal región productora de piensos es la de Asia-Pacífico, cuando hablamos de países productores Estados Unidos va en cabeza, con una producción de 214,4 millones de toneladas y les sigue China, con 167,9. En este top 9 de países productores de pienso (Figura 1) nos encontramos con solo un país del área mediterránea: España con 34,8 millones de toneladas de pienso.

Con esto solo tenemos una visión global de la producción de pienso, pero cuando hablamos de producción de pienso para acuicultura y nos centramos en el área mediterránea, este *ranking* varia.

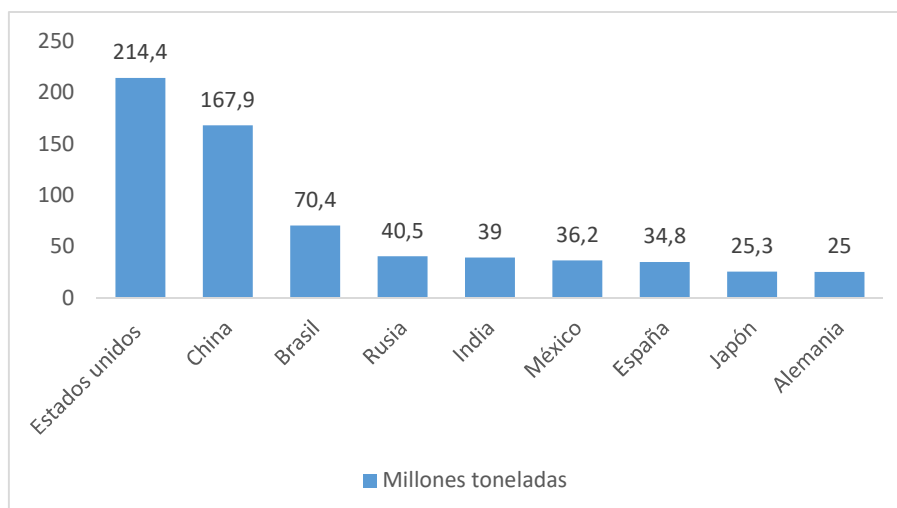


Figura 11: Principales países productores de pienso. Datos obtenidos de Alltech (2020).

Los países que limitan directamente con el mar mediterráneo son: España, Francia, Italia, Eslovenia, Croacia, Bosnia y Herzegovina, Montenegro, Albania, Grecia, Turquía, Siria, Líbano, Israel, Egipto, Libia, Túnez, Argelia y Marruecos.

Aunque no se tienen cifras de Siria debido a la situación sociopolítica actual (2020), la empresa Alltech ha realizado una estimación de la producción total de pienso y el desglose de esta por especies. Gracias a estos datos se puede saber el porcentaje que cada país productor de pienso dedica a la acuicultura. Croacia y Albania son los países que dedican la mayor parte de su producción a pienso para especies acuáticas, con un 97,14% y un 21,33% de su producción respectivamente y les siguen desde una gran distancia Egipto con un 8,15%, Grecia con un 5,5% e Israel con un 5,21%. El resto de países del mediterráneo dedican entre un 0 y un 1.01% de su producción de pienso a la acuicultura.

Los datos de producción de pienso no coinciden con los de los principales países productores de dorada y lubina.

Existe producción de dorada de acuicultura en 20 países (Figura 12), siendo los principales productores Turquía con 83.000 toneladas (que representa el 33,6 % de la producción total), Grecia con 61.000 t. (el 24,7 %), Egipto con 36.000 t (14,6 %) y España con 14.930 t (6,0 %). Su cultivo se realiza también en Túnez, Italia, Chipre, Croacia, Malta, Israel, Francia y Portugal, y hay producciones menores en Albania, Argelia, Emiratos Árabes Unidos y Bosnia, entre otros (APROMAR, 2019).



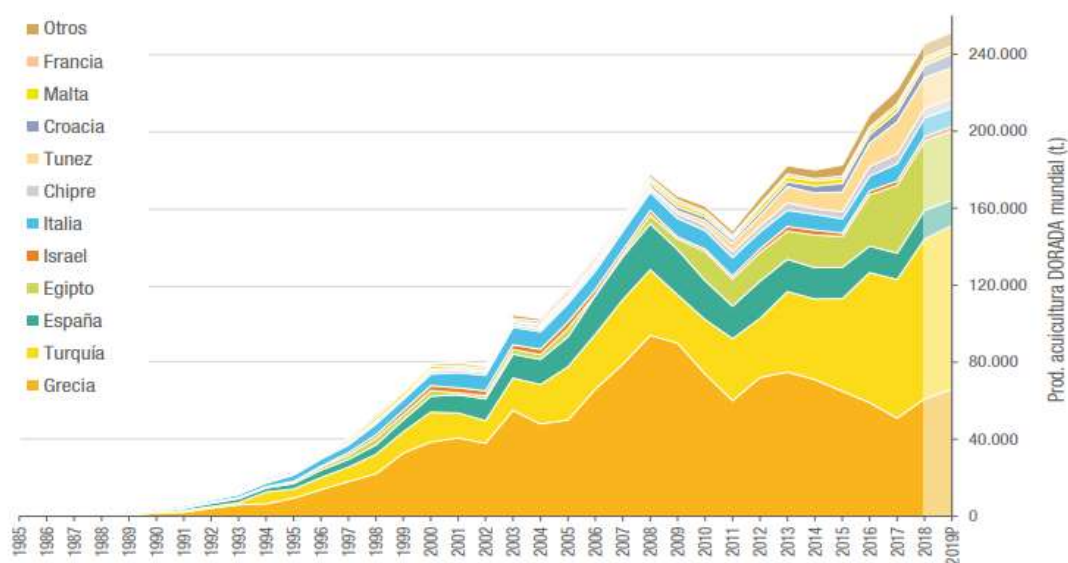


Figura 12: Evolución de la producción (tn) de dorada de acuicultura en el área mediterránea y el resto del mundo en el período 1985-2019 sobre datos FAO, FEAP y APROMAR. Fuente: (APROMAR, 2019)

En referencia a la lubina (Figura 13), los principales países productores son Turquía, con 75.000 toneladas (que supone el 38,2 % del total de lubina), Grecia con 45.500 toneladas (23,1 %), Egipto con 31.000 toneladas (un 15,8 %) y España con 22.460 t (11,4 %). Pero se produce lubina en un total de 19 países, incluyendo, además de los anteriores, Italia, Croacia, Francia, Túnez, Portugal, Chipre, Israel, Reino Unido, Bosnia, Argelia, Montenegro, Malta, Eslovenia y Marruecos (APROMAR, 2019).

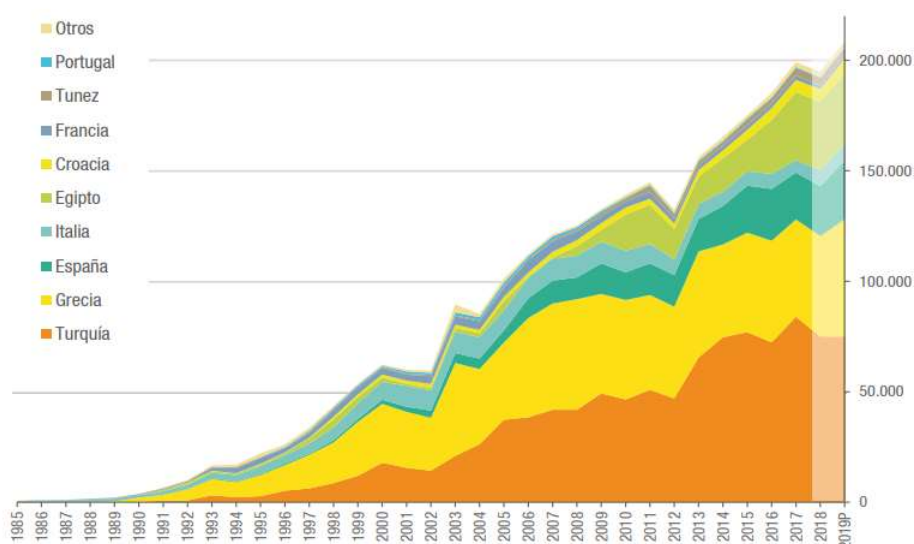


Figura 13: Evolución de la producción (tn) de lubina de acuicultura en el área mediterránea y el resto del mundo en el período 1985-2019 sobre datos FAO, FEAP y APROMAR. Fuente: (APROMAR, 2019)

Los principales países productores de dorada y lubina son por este orden: Turquía, Grecia, Egipto y España, mientras que de los principales productores de pienso para acuicultura son: Croacia, Albania, Egipto y Grecia (Tabla 5).

*Tabla 5: Producción estimada de pienso total, producción estimada de pienso para acuicultura y porcentaje de pienso para acuicultura respecto al total de cada país mediterráneo en millones de toneladas. Datos obtenidos del mapa interactivo de Alltech 2020.*

PAIS	TOTAL PIENSO	PIENSO ACUICULTURA	%
<b>España</b>	34,8	0,16	0,46
<b>Francia</b>	22,1	0,135	0,61
<b>Italia</b>	14,5	0,146	1,01
<b>Eslovenia</b>	0,5	0	0,00
<b>Croacia</b>	0,7	0,68	97,14
<b>Bosnia Herzegovina</b>	0,53	0	0,00
<b>Montenegro</b>	0,024	0	0,00
<b>Albania</b>	0,15	0,032	21,33
<b>Grecia</b>	4	0,22	5,50
<b>Turquía</b>	24,1	0,408	1,69
<b>Israel</b>	1,92	0,1	5,21
<b>Egipto</b>	7,36	0,6	8,15
<b>Libia</b>	1,06	0	0,00
<b>Túnez</b>	2,8	0	0,00
<b>Argelia</b>	4,3	0	0,00
<b>Marruecos</b>	4,31	0	0,00
<b>TOTAL</b>	123,854	2,481	2,00

## 5.2 Incidencia de contaminación por micotoxinas en muestras de grano

La dificultad para comparar informes de contaminación de alimentos y piensos por micotoxinas en estudios se basa en las diferentes metodologías para la detección de micotoxinas y la cuantificación que se ha utilizado, lo que puede conducir a considerables incertidumbres con respecto a las variaciones en la sensibilidad y la precisión de los diferentes métodos (Pietsch, 2020). Es por este motivo que la incidencia de contaminación por micotoxinas puede variar en función del autor o del estudio realizado.

Se sabe que la contaminación en los diferentes ingredientes de un alimento difiere ampliamente (Pietsch, 2020). Además, se puede suponer que la molienda aumenta la concentración de micotoxinas en fracciones de cereales (por ejemplo, salvado) que comúnmente se utilizan para la producción de pienso para animales. Sin embargo, dependiendo de las micotoxinas, el nivel de contaminación y los procesos tecnológicos, el alcance de la modificación es diferente. Por ejemplo, se conoce que la limpieza previa al fresado reduce los niveles de micotoxinas en el trigo que se moldea ya que se pueden eliminar granos, granos rotos y polvo (Pietsch, 2020).

Pietsch (2020) ha revisado datos de 116 publicaciones científicas que comprenden informes de contaminación de alimentos y piensos por micotoxinas. Estos informes son del norte de Europa (Noruega, Suecia, Finlandia, Estonia, Letonia, Lituania, Polonia, Dinamarca, Reino Unido, Irlanda), de Europa central (Francia, Alemania, Austria, Polonia, Hungría, Rumania, Ucrania, Eslovaquia, Países Bajos, Suiza, Bélgica, República Checa, Eslovenia, Serbia, Croacia) y del sur de Europa (España, Portugal, Italia, Yugoslavia, Grecia, Bulgaria).

Aunque no se trate de países meramente mediterráneos, nos da una idea del escenario actual de la presencia de micotoxinas en Europa en piensos para peces en función de su composición (Figura 14). El contenido más alto en micotoxinas se sitúa por encima de los 2.500 µg/kg de pienso para peces y corresponde a productos derivados del maíz, mientras que el valor más bajo es para los productos derivados del girasol, estando muy por debajo de los 500 µg/kg de pienso para peces.

Además, gracias a encuesta anual World Mycotoxin Survey de Biomin, podemos comparar incidencias (%) de diferentes años en Europa y el norte de África, acotando así un poco más la zona mediterránea.

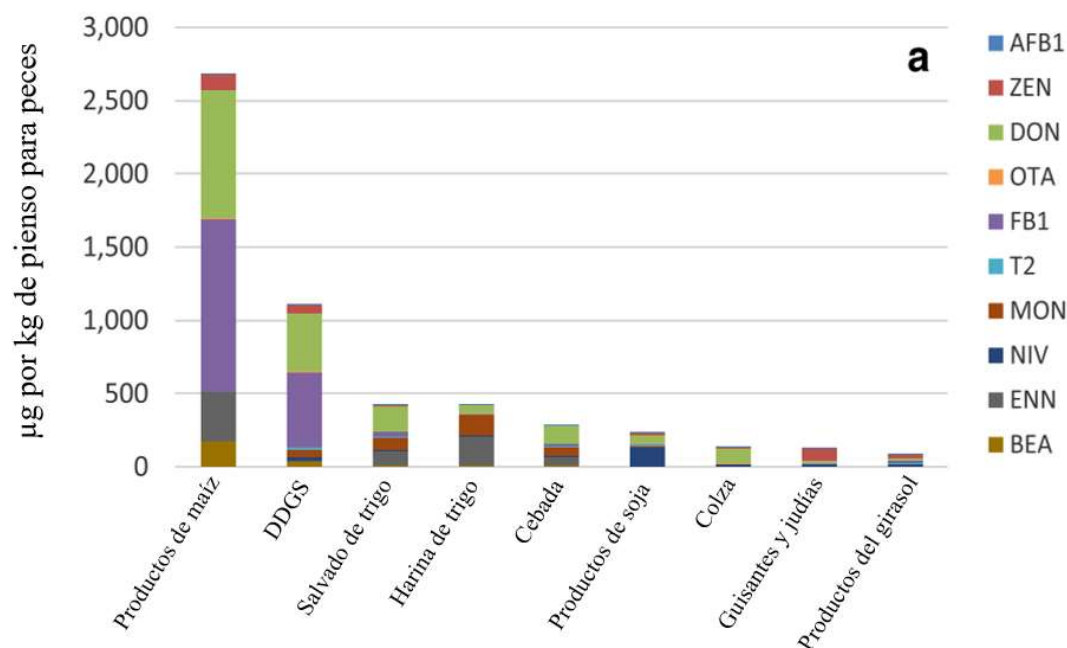


Figura 14: Contenido estimado de micotoxinas en  $\mu\text{g}$  por kg de pienso para peces calculado a partir de datos de la literatura de acuerdo con el escenario medio. Fuente: Pietsch, 2020.

En la Tabla 6 elaborada a partir de datos de diferentes años de la encuesta anual de la empresa Biomín (anteriormente mencionada) podemos hacer una revisión a los porcentajes de cada micotoxina encontrados en las muestras positivas a estos metabolitos tóxicos. Aunque se trata de una revisión válida al poder comparar estudios de distintos años, debemos tener en cuenta la baja cantidad de muestras analizadas pertenecientes al Norte de África y Oriente Medio, ya que son números mucho más bajos que las muestras que se analizan en Europa. Aún y con esto, podemos observar que hay ciertas micotoxinas que en la actualidad (2020) han aumentado mucho su porcentaje dentro de las muestras positivas respecto al año 2010. De ello son un ejemplo la zearalenona en Europa que ha pasado de 19% en 2010 a 49% en 2020, además el deoxinivalenol ha pasado de un 40% al 71% en el Norte de África y Oriente Medio y del 41% al 51% en Europa. Otras micotoxinas en cambio han reducido su porcentaje en muestras positivas, es el caso de la aflatoxina, que ha pasado de un 50% en 2010 a tan solo un 5% en 2020. En Oriente Medio y el Norte de África en cambio este descenso no ha sido tan notable, pasando de un 8% en 2010 a un 3% en la actualidad.

Tabla 6: Incidencia (%) de contaminación por micotoxinas en muestras de grano en Europa donde N.A y O.M corresponden a Norte de África y Oriente Medio y E a Europa. Adaptación de encuestas Biomin de los años 2010, 2018 y 2020.

AÑO	AFs		ZEN		DON		FMs		T-2		OTA	
	N.A y O.M	E	N.A y O.M	E	N.A y O.M	E	N.A y O.M	E	N.A y O.M	E	N.A y O.M	E
<b>09/10</b>	8	50	29	19	40	41	65	83	nd	nd	22	29
<b>17/18</b>	15	12	71	56	65	63	87	57	15	41	15	26
<b>19/20</b>	3	5	49	49	71	59	69	58	34	33	3	18
2019/2020 total de muestras analizadas n= 1476												
2017/2018 total de muestras analizadas n= 2992												
2009/2010 total de muestras analizadas n= 346												

Para concluir este capítulo cabe destacar la importancia de los datos significativos y reales en los muestreos de micotoxinas, ya que conocer estos datos es lo que puede ayudar a la industria de los piensos y a los especialistas en nutrición acuática a organizar programas para el control del riesgo que suponen estos metabolitos y de esta manera proteger a los animales de los efectos negativos que tienen las micotoxinas para su salud y a reducir también el impacto económico que conlleva este tipo de contaminación del pienso para los productores.

### 5.3 Micotoxinas y metabolitos en muestras positivas

Para conocer las micotoxinas y metabolitos que se encuentran en muestras positivas nos vamos a basar en la figura 16, donde podemos ver el porcentaje de metabolitos presentes en más del 50% de las muestras. Las barras coloreadas en naranja nos indican aquellas micotoxinas reguladas o de referencia, y el corte para todos los metabolitos es de 1 ppb excepto para las aflatoxinas que es de 0,5 ppb.

La Figura 15 muestra que existen hasta 12 metabolitos en el 75 % de las muestras, y corrobora que no solo aparece una micotoxina en las muestras analizadas, sino que la normalidad es la concurrencia de varias micotoxinas en la mayoría de las muestras. También es alarmante ver como se han encontrado en muchos casos cantidades de micotoxinas o/y sus metabolitos 10 veces por encima de la media de las muestras.

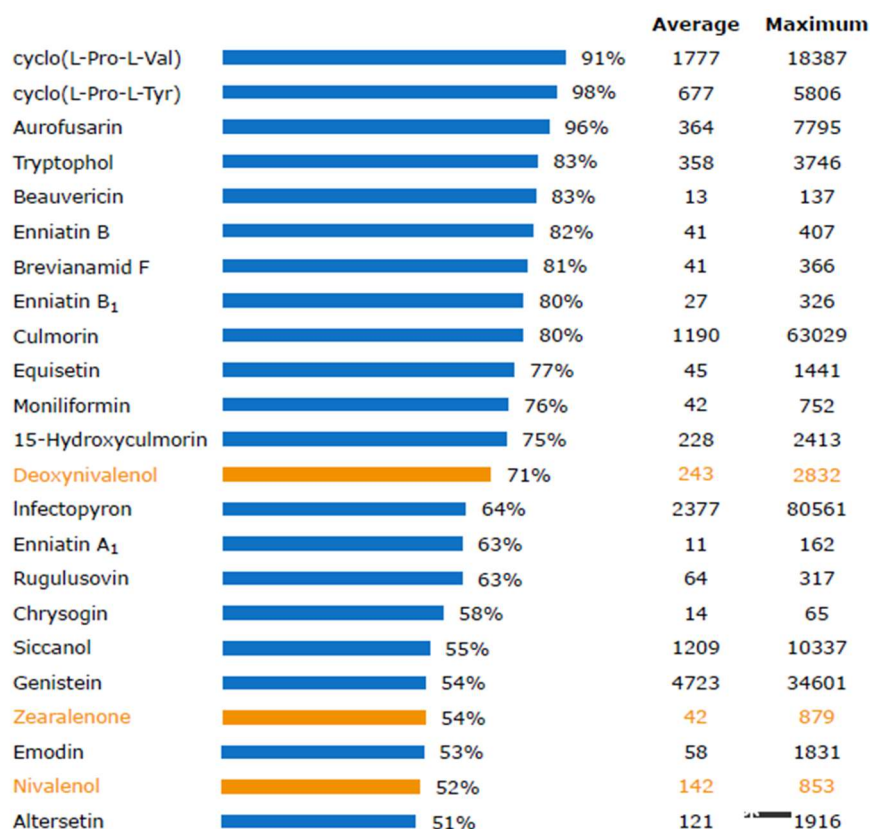


Figura 15: Porcentaje de micotoxinas y metabolitos en muestras positivas. Fuente: Biomin 2020

#### 5.4 Riesgo de la presencia de micotoxinas en piensos

Es importante destacar el riesgo que representa para la salud humana la presencia de micotoxinas en los productos animales, como consecuencia del consumo por el animal de piensos contaminados. En las últimas décadas, numerosos países han incorporado a su legislación regulaciones dirigidas a establecer niveles máximos autorizados de micotoxinas en los piensos y alimentos destinados al hombre con el fin de salvaguardar su salud y los intereses económicos de los sectores involucrados (Denli & Pérez, 2006) (*Tabla 7*).

*Tabla 7: Niveles máximos recomendados de contaminación por micotoxinas en alimentos para animales con relevancia para peces según el Reglamento (CE) no 1831/2003 de la Comisión de 19 de diciembre de 2003 por el que se fija el contenido máximo de determinados contaminantes en los productos alimenticios y Recomendación de la Comisión de 27 de marzo de 2013 sobre la presencia de las toxinas T-2 y HT-2 en los cereales y los productos a base de cereales. Fuente: Pietsch (2020). (1) No para terneras, ovejas, cabras, cerdos y aves de corral. (2) Excepto los que llevan maíz. (3) excepto salvado de avena.*

Micotoxina	Alimentos relevantes/ productos de cereales	[µg / kg]
<b>Aflatoxina B<sub>1</sub></b>	Todas las materias primas	20
	Piensos completos (1)	10
	Piensos complementarios (1)	20
<b>Deoxinivalenol</b>	Cereales y productos del cereal (2)	8000
	Productos con maíz	12000
	Piensos completos y complementarios	5000
<b>Zearalenona</b>	Cereales y productos del cereal (2)	2000
	Productos con maíz	3000
<b>Ocarotoxina A</b>	Cereales y productos del cereal	250
<b>Fumonisina B<sub>1</sub></b>	Maiz y productos de maíz	60000
	Piensos completos y complementarios	10000
<b>Toxinas T-2 y HT-2</b>	Cereales y productos a base de cereales (3)	500

Como se observa en la Tabla 8, el riesgo total de contaminación por micotoxinas es del 52% en la zona de la Europa Central, del 49% en el Sur de Europa y del 51 % en el Norte de África y Oriente Medio. Siendo estas las zonas que envuelven el Mar Mediterráneo, tendríamos una media del 50,67%, pero esta media es irreal ya que el estudio de Biomin 2019 engloba a más países de los que propiamente limitan con el Mediterráneo. Incluso con esto nos podemos hacer una idea del riesgo potencial ya que la probabilidad de encontrar metabolitos en muestras analizadas es de una de cada dos muestras.

*Tabla 8: Tabla de riesgo y prevalencia en diferentes regiones mediterráneas. Fuente: Adaptación del mapa Global map of mycotoxin prevalence (Biomin, 2019).*

Zona	Riesgo total	Prevalencia					
		Afla	ZEN	DON	T2	FUM	OTA
<b>Europa Central</b>	52 %	19%	46%	66%	42%	43%	24%
<b>Sur de Europa</b>	49 %	12%	52%	57%	13%	85%	14%
<b>Norte de África y Oriente Medio</b>	51%	12%	73%	62%	28%	77%	17%

Como se muestra en la figura 17, entre enero y marzo de este año (2020), la mayor contaminación de muestras en el norte de África ha sido por DON con un 71% de muestras positivas y el mismo periodo del año pasado fue por ZEN con un 89%. Los números de este año son más positivos respecto al riesgo ya que los porcentajes de muestras positivas han disminuido, esto no significa que no haya riesgo, al contrario, y en concreto para peces el DON representa un riesgo de contaminación.

Se debe tener en cuenta también que las muestras tomadas en el continente africano son muy bajas (35) y todas están tomadas en Túnez e Israel. Por lo tanto, el riesgo real puede discernir del que se muestra en este trabajo, pero por el momento no se han obtenido más datos.





Figura 16: Porcentaje de muestras contaminadas por micotoxinas en el norte de África en enero- marzo 2020 y enero-marzo 2019. El color de los animales indica el riesgo que representa para esta especie la prevalencia y la concentración de micotoxinas en todas las muestras de esta región (azul claro =moderado a azul oscuro = extremo). Fuente: (BIOMIN, 2020).

De Europa (incluyendo Turquía) se analizaron 1441 muestras en el periodo de enero y marzo de este año (2020) y se compararon con las cifras del año anterior de la misma forma que en la Figura 16. En el caso de Europa (Figura 17) la micotoxina que más se encontró en las muestras analizadas fue el DON con un 59% de contaminación en las muestras observadas y en el año 2019, la mayor contaminación fue por ZEN con un 56%.

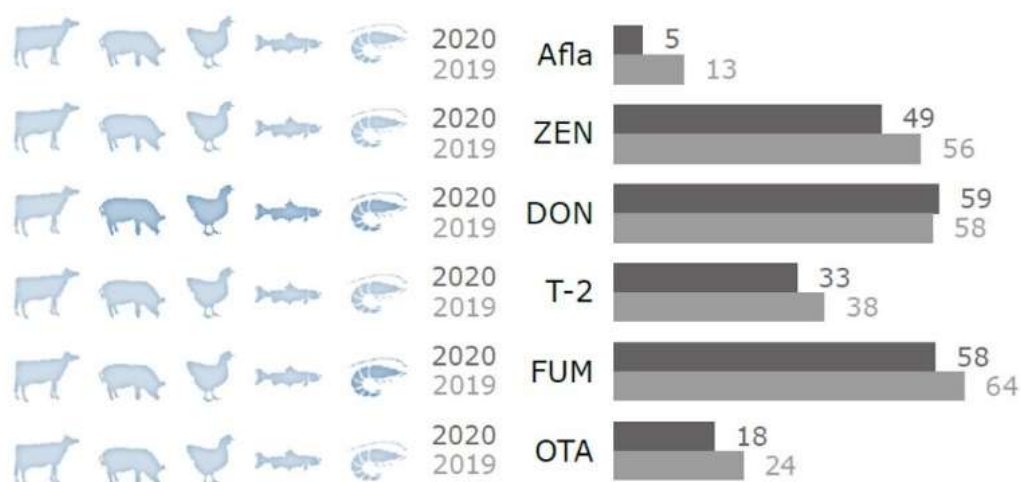


Figura 17: Porcentaje de muestras contaminadas por micotoxinas en Europa en enero- marzo 2020 y enero-marzo 2019. El color de los animales indica el riesgo que representa para esta especie la prevalencia y la concentración de micotoxinas en todas las muestras de esta región (azul claro =moderado a azul oscuro = extremo). Fuente: (BIOMIN, 2020).

## 6 EFECTOS DE LAS MICOTOXINAS

La presencia de micotoxinas en los alimentos y piensos puede afectar a la salud humana y animal ya que pueden causar diversos efectos adversos como la inducción del cáncer y mutagenicidad, así como problemas en el metabolismo de los estrógenos, gastrointestinales o en el riñón (AESAN 2020).

Como se indica en la Tabla 9, los metabolitos tóxicos producidos por mohos se conocen por ser: carcinogénicos (AFB<sub>1</sub>, OTA, FB<sub>1</sub>), oestrogénicos (ZEN), neurotóxico (FB<sub>1</sub>), nefrotóxico (OTA), dermatotóxicos (tricotecenos) o inmunosupresores (AFB<sub>1</sub>, OTA y toxina T-2) (Gonçalves et al., 2016).

Tabla 9: Efectos de las micotoxinas. Fuente: Anwar & Tan, 2019.

Efecto de la micotoxina	Tipo de micotoxina
<b>Carcinogenica</b>	Aflatoxina B <sub>1</sub> , ochratoxina A, fumonisina B <sub>1</sub>
<b>Estrogenica</b>	Zearalenona
<b>Neurotóxica</b>	Fumonisina B <sub>1</sub>
<b>Nefrotóxica</b>	Ocratoxina A
<b>Dermatotóxica</b>	Tricotecenos
<b>Inmunosupresora</b>	Aflatoxina B <sub>1</sub> , ocratoxina A y toxina T-2

## 6.1 Efecto en la salud de los peces y la producción

Existe una tendencia creciente a utilizar cada vez más ingredientes vegetales en los alimentos para acuicultura causados por los altos precios de la harina de pescado y los aceites. Con esta tendencia, también aumenta el riesgo de contaminación por micotoxinas, lo que afecta el rendimiento del crecimiento de los peces, la calidad del producto final y a la salud de los peces (Figura 18)

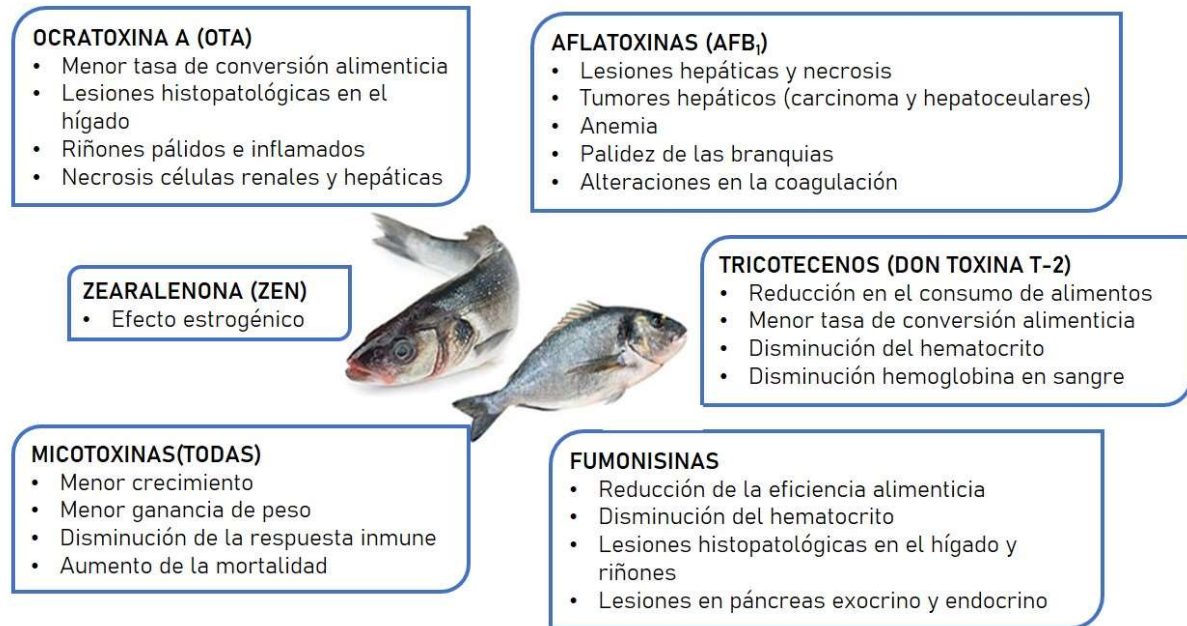


Figura 18: Efecto de las micotoxinas en la salud de los peces.

Las pérdidas en acuicultura causadas por las micotoxinas en pienso pueden ser significativas, resultando en pérdidas económicas en la producción de peces. En los estudios de los efectos tóxicos en peces, no hay un estándar de la cantidad y tiempo de exposición a las toxinas producidas por mohos, y este es un factor importante para describir el posible efecto tóxico y sus consecuencias (Anater et al., 2016). Las principales micotoxinas que se encuentran en piensos para acuicultura son la AFB<sub>1</sub>, AFB<sub>2</sub>, AFG<sub>1</sub> y AFG<sub>2</sub> (Gonçalves et al., 2016).

Se conoce que el órgano diana de las aflatoxinas es el hígado, causando necrosis hepática y carcinoma hepático. Las aflatoxinas además pueden producir diferentes daños y manifestaciones patológicas, como carcinoma de células pequeñas o agallas pálidas (Patent Co., 2009).

La ZEN es una micotoxina que afecta predominantemente a los parámetros reproductivos en diferentes especies acuáticas, incluyendo a los peces, causando cambios en la fecundidad, aceleración de la maduración sexual y reducción de la frecuencia de desove (Patent Co., 2009).

La presencia de tricotecenos está relacionada con la disminución de la producción de enzimas que rompen la pared celular bacteriana y una menor resistencia al daño oxidativo (Patent Co., 2009). Como todas las micotoxinas, también causan inmunosupresión.

Las fumonisinas se han asociado generalmente con una tasa de crecimiento reducida, un menor consumo de alimento, una baja eficiencia de alimentación y un metabolismo alterado de los esfingolípidos. También causan lesiones a nivel exocrino y endocrino en el páncreas, así como en el tejido inter-renal (Patent Co., 2009).

La OTA induce efectos mutagénicos y tóxicos, degeneración de los riñones y el hígado y malos rendimientos de estos (Patent Co., 2009).

En el caso de las micotoxinas emergentes del género *Fusarium*, se ha demostrado que las eniatinas pueden estar presentes en los tejidos de los peces (Tabla 10) y se ve afectado de manera diferente por el procesamiento de los alimentos (Ferrer, Tolosa, Font, & Mañes, 2017).

La toxicidad de la eniatina A ha sido investigada y se ha podido observar afectaciones en el desarrollo de embriones de pez cebra a concentraciones de 1000 µg/L o más.

Es importante remarcar que todas las micotoxinas hacen disminuir la producción ya que causan disminución de la ingesta, aumentan los índices de conversión del alimento y esto trae consigo importantes pérdidas económicas.

Tabla 10: Efectos tóxicos en dorada y lubina.

Especie	Micotoxina	Dosis efecto tóxico	Residuo			Referencia
			Músculo	Hígado	Otros	
<b>Lubina</b>	Aflatoxinas	0,2 mg/kg	SD	SD	SD	El-Sayed and Khalil. 2009
	Ocratoxina A	0,3mg/kg	SD	SD	SD	El-Sayed and Khalil. 2009
	<i>Fusarium</i> emergentes	0,2mg /kg	4,2 µg /kg	17,7 µg ENB/kg	Cabeza-75,4 µg ENB/kg	Tolosa et al. 2014; El-Sayed & Khalil. 2009
<b>Dorada</b>	<i>Fusarium</i> emergentes	SD	SD	13,4 µg ENB/kg	Cabeza-15,9 µg ENB/kg	Tolosa et al. 2014

\* SD= Sin datos

## 6.2 Efectos en los consumidores

La contaminación por micotoxinas puede suponer un importante riesgo para la salud tanto de los peces como de los humanos (Oliveira & Vasconcelos, 2020).

Los humanos se exponen a las micotoxinas a través de varias rutas como la ingestión de comida contaminada (el medio de exposición más destacado), el contacto y la inhalación (Barac, 2019). Además el tipo de toxicidad depende principalmente de la estructura química de la toxina, pero también de su concentración, duración de la exposición y la etapa de vida a la que se ha expuesto la toxina (Pietsch, 2020).

Cuando las micotoxinas son ingeridas por los peces, estas pueden no solo afectar al bienestar del animal sino que también pueden pasar por la cadena alimentaria y pueden conducir a serios problemas de salud para el consumidor (Oliveira & Vasconcelos, 2020).

*Tabla 11: Efectos sobre la salud de los consumidores causado por las principales micotoxinas. Adaptación de (Omotayo O.P., Omotayo A.O. , Mwanza M., & Babalola O.O., 2019).*

Micotoxina	Efecto en la salud
<b>Aflatoxina</b>	Hepatotóxica e inmunosupresora
<b>Zeralenona</b>	Carcinogénica, desequilibrio hormonal y efectos reproductivos
<b>Tricotecenos</b>	Hepatotóxica, genotóxica e inmunosupresora
<b>Deoxinivalenol</b>	Naúseas, vómitos, diarrea, efectos sobre la reproducción y toxicosis
<b>Fumonisinias</b>	Carcinogénicas, hepatotóxica, nefrotóxica, e inmunosupresora
<b>Ocratoxina</b>	Carcinogénica, genotóxica, inmunosupresora, nefrotóxica e induce a enfermedades del tracto urinario superior
<b>Eniatinas y beauvericina</b>	BEA tiene un bajo potencial genotóxico y ENNB presenta un peligro genotóxico

Aunque la mayor afectación de las micotoxinas para el consumidor son las enfermedades crónicas, también se han descrito casos de toxicidad aguda con resultado de muerte en pacientes que tuvieron exposición a altas dosis de micotoxinas o durante largo tiempo. Como se muestra en la Tabla 11, los principales efectos que estos metabolitos tienen sobre la salud son hepatotoxicidad, nefrotoxicidad, efecto inmunosupresor, carcinogénico y genotóxica y algunas pueden afectar al aparato gastrointestinal, urinario superior y/o reproductivo.

## 7 EVALUACIÓN DEL RIESGO DEL CONSUMO DE MICOTOXINAS A TRAVÉS DEL CONSUMO DE PESCADO EN ESPAÑA

### 7.1 Evaluación del riesgo de la ingestión de micotoxinas por pescado

Consideraciones previas:

La evaluación de riesgos se definió por la FAO/OMS en 1995 como la evaluación de la probabilidad de que tengan lugar efectos adversos para la salud, conocidos o potenciales, resultantes de la exposición de los seres humanos a peligros transmitidos por los alimentos, siendo la base científica primaria para los reglamentos.

Ana Belén Serrano Serrano (Serrano, 2015) en su tesis doctoral, indica que el proceso de evaluación del riesgo presenta cuatro etapas:

Identificación del peligro: La identificación de peligros suele ser el primer paso en una evaluación de riesgos y es el proceso que se emplea para identificar el peligro específico y para determinar si la exposición a ese producto tiene el potencial para dañar la salud humana (OMS, 2017).

Caracterización del peligro: El objetivo de la caracterización del peligro/identificación del valor orientativo o de referencia, es obtener una descripción cualitativa o cuantitativa de las propiedades inherentes del agente que tiene el potencial para causar efectos sanitarios adversos como resultado de la exposición (OMS, 2017).

Determinación de la exposición: Se emplea la evaluación de exposición para determinar si las personas están en contacto con un producto determinado potencialmente peligroso y, si así es, hasta qué punto, mediante qué ruta, a través de qué medio y durante cuánto tiempo (OMS, 2017).

Caracterización del riesgo: El último paso en una evaluación de riesgos (la caracterización de riesgos) suele ser un informe cuantitativo sobre la exposición estimada relativa al valor orientativo basado en la salud, el valor de referencia de calidad característico de los medios u otro valor de caracterización del peligro más adecuado, como la curva de factores del cáncer. Por lo general, se obtiene el informe de riesgos mediante la comparación de la exposición estimada, con un valor orientativo o de referencia o mediante el cálculo de riesgo de cáncer extremo de por vida vinculado a la exposición estimada (OMS, 2017).



Aunque se han descrito diferentes formas de llevar a cabo la evaluación del riesgo. La Organización Mundial de la Salud en 2009 publicó las recomendaciones del programa internacional de seguridad química. Según estas recomendaciones la evaluación de la exposición por la dieta se puede realizar como evaluación general con los datos de consumo de la media de la población (Moraleja, 2016).

En este punto del trabajo, la evaluación del riesgo se hará mediante una hoja de ruta genérica donde englobaremos las cuatro etapas mencionadas con anterioridad sobre el riesgo de intoxicación por AFs mediante el consumo de carne de pescado.

Para empezar debemos identificar el peligro, ello implica establecer la identidad del producto de interés y determinar si las organizaciones internacionales han considerado peligroso el producto y, si así lo han hecho, en qué grado (OMS, 2017).

Dado el tiempo y los recursos suficientes, el modo más seguro para identificar los productos químicos potencialmente peligrosos es la toma de muestras y el análisis químico (OMS, 2017), en el caso de la AFB<sub>1</sub>, el Reglamento (CE) nº 401/2006 de la Comisión, de 23 de febrero de 2006, por el que se establecen los métodos de muestreo y de análisis para el control oficial del contenido de micotoxinas en los productos alimenticios indica que la legislación comunitaria no exige ningún método específico para la determinación del contenido de micotoxinas en los productos alimenticios y los laboratorios podrán aplicar cualquier método de su elección, siempre que se ajuste a los criterios que dicho reglamento indica. En este documento no se ha podido llevar a cabo un estudio generalizado de determinación analítica de micotoxinas en pescado de acuicultura comprado en diferentes establecimientos, por lo que se ha tenido que recurrir a los datos hallados en la bibliografía científica.

Hay diferentes formas de clasificar elementos nocivos en función del peligro que suponen para la salud humana, tales como los efectos neurológicos, de crecimiento, reproductivos, respiratorios, cardiovasculares y cancerígenos. Esa información se emplea para elaborar valores orientativos, como la ingesta diaria tolerable (IDT) y la ingesta diaria admisible (IDA), a su vez, los factores de exposición humana, como las tasas de ingesta se tienen en cuenta para elaborar los valores de referencia en medios como el aire, el agua y los alimentos (OMS, 2017).

La búsqueda de los valores para humanos de LOAEL para cada micotoxina (cantidad más baja de micotoxina que produce un efecto adverso observable) es el valor de referencia, y en su defecto se puede emplear los valores para animales de experimentación aplicando un factor de multiplicación para garantizar un margen de seguridad.

Otros valores relacionados con este hecho son la anteriormente mencionada TDI (ingesta diaria tolerable de una toxina a través de la alimentación) y el NOAEL (cantidad de toxina ingerida que no supone la observación de ningún efecto adverso). En este documento no se han encontrado datos homogéneos de LOAEL para cada micotoxina. Este hecho dificulta la realización de una evaluación del riesgo completa y representativa.

## 7.2 Aplicación de la evaluación del riesgo de micotoxinas al consumo de pescado

Como resultado de la caracterización del peligro tradicional vamos a identificar los valores orientativos y de referencia disponibles, para ello tendremos: El consumo diario de pescado en kg/persona/año, la cantidad de cada micotoxina que se encuentra en la carne de este pescado, los valores legalmente permitidos en España de micotoxinas en la carne de pescado y los niveles de micotoxinas a los que empiezan a aparecer efectos tóxicos.

Para empezar con la caracterización del riesgo debemos entonces conocer el consumo de pescado por habitante en España. Aquí empieza a surgir el primer problema ya que informes oficiales de la UE estiman que es de 45 kg por español y año e informes oficiales del Estado español estiman que este consumo es de 23 kg/persona/año (datos del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, 2018) muy por encima de la ingesta recomendada por la Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición que fija en 10,5 kg (200 gramos a la semana). Se decide emplear los 23 kg/ persona y año por estar más documentado, ser más reciente y referirse a carne de pescado (excluyendo otros productos de la pesca como crustáceos o moluscos). Con esto, y sabiendo que el consumo de productos acuáticos en la Unión Europea está dominado por la oferta de pescado de captura, que representa el 80 % del total, y que el 20 % de consumo restante procede de la acuicultura (APROMAR, 2019), el consumo de pescado de acuicultura y potencialmente con toxinas fúngicas es de 4,6 kg de pescado al año.

El consumo de productos de acuicultura está aumentando a un ritmo exponencial en los últimos años, y según la FAO, actualmente la producción de productos de acuicultura iguala a las capturas en alta mar. Por lo tanto, es muy posible que este dato de 4,6 kg de carne de pescado de acuicultura por persona y año se incremente, no solo por el aumento de la producción y oferta, sino también por los nuevos hábitos de consumo. De estos 4,6 kg, aproximadamente 2,2 kg provienen del salmón, 1 kg del lenguado, 0,6 kg de la dorada, 0,6 kg de la lubina, 0,1 del rodaballo y 0,1 de la trucha. Este dato generalista no tiene en cuenta la diversidad de preferencia por pescado de los españoles ya que, como unos de los países con mayor consumo de pescado a nivel mundial, existen grandes diferencias entre los hábitos de consumo dentro de la población española hacia este alimento.

El siguiente paso de la evaluación del riesgo es determinar la cantidad de micotoxinas presentes en el alimento a estudiar, en este caso el conjunto de pescado de acuicultura, ya que el pescado de captura prácticamente esta carente de este riesgo (no se ha tenido

en cuenta el consumo de crustáceos como los langostinos cultivados principalmente en otras latitudes y cuyos piensos empleados para su alimentación tienen una alta incidencia de micotoxinas). Nuevamente, es difícil encontrar datos al respecto para poder determinar la presencia de las diferentes micotoxinas en una muestra representativa de pescados de acuicultura consumidos en España.

En los escasos datos que se han encontrado de los últimos años se ha concluido que la mayoría de estos contaminantes se acumulan en vísceras, otros órganos y cabeza, partes anatómicas que no entran a formar parte de nuestra dieta, pero que como subproductos si pudieran formar parte de la dieta de otras poblaciones, otras especies u otros productos alimenticios. Por lo que el tratamiento tecnológico que se les dé a estos subproductos será importante para mitigar el efecto tóxico de estas micotoxinas en otros ámbitos.

Por lo tanto, la no presencia de micotoxinas en la carne de pescado de acuicultura, se debe en gran parte a los pocos estudios que hay y no a que no se pueda dar este hecho ya que la incidencia de micotoxinas en la alimentación del pescado es un hecho ampliamente demostrado en la literatura científica.

Los estudios más detallados y recientes a nivel mundial sobre dicha contaminación fúngica aportan datos más que preocupantes al respecto. Como consecuencia del cambio climático se está viendo como las cosechas, y por ende los piensos que emplean materias primas de origen vegetal están cada vez más contaminados, encontrándose una prevalencia en piensos elaborados en la UE del 50%. A este hecho, además, se le une la problemática de que, en la mayoría de los casos, no solo aparece una micotoxina, sino varias (76 % de coexistencia en piensos de acuicultura). Siendo las micotoxinas encontradas las siguientes: DON (65% muestras analizadas), FBs (65% muestras analizadas), ZEA (50% muestras analizadas), T-2 (30% muestras analizadas), OTA (10% muestras analizadas) y AFs (5% muestras analizadas). Toxicológicamente, los efectos sinérgicos de la coexistencia de varias micotoxinas en la dieta esta escasamente estudiado, aunque como se puede ver es un hecho muy normal en la alimentación animal con cereales.

Aunque existe una reglamentación sobre la cantidad de micotoxinas en diferentes alimentos para humanos (Reglamentos 165/2010, 1881/2016 y sus modificaciones) hasta la fecha no existen unos niveles de micotoxinas en carne de pescado destinado a alimentación humana, por lo que no podemos emplear estos datos para realizar una evaluación del riesgo. Sí que existen datos legislativos sobre micotoxinas para el sector de la alimentación acuícola.

Los valores encontrados de micotoxinas en pienso compuesto para acuicultura han sido los presentados en la Tabla 12:

Tabla 12: Valores encontrados de micotoxinas en pienso compuesto para acuicultura. Fuente: Gonçalves 2016.

Micotoxina	Cantidad promedio de micotoxina por kg de pienso $\mu\text{g/kg}$	Cantidad máxima de micotoxina por kg de pienso $\mu\text{g/kg}$	Valores máximos permitidos <sup>(1)</sup> o recomendados <sup>(2)</sup> $\mu\text{g/kg}$
<b>Aflatoxina</b>	0,5	221	10
<b>Zearalenona</b>	118	306	250*
<b>Deoxinivalenol</b>	165	413	5.000
<b>Fumonisina</b>	3400	7534	10.000
<b>Ocratoxina</b>	1,5	5	50*

\*no existe para piensos acuicultura, extrapolación con pienso cerdos engorde

(1) Directiva UE 100/2013

(2) Recomendación de la Comisión 1319/2016

En la bibliografía se recogen dos estudios. En uno de ellos se encontró que una contaminación de 18 mg/kg de AFB1 en el pienso de lubinas durante períodos prolongados de tiempo provocaba la aparición de residuos de esta toxina en músculo del pescado en valores cercanos a los 5  $\mu\text{g/kg}$  (factor de transformación aproximado de un  $2,5 \times 10^{-4}$ ), al tiempo que aparecían síntomas evidentes de enfermedad en los animales sometidos a ensayo (El-Sayed y Khalil, 2009). Y de 30  $\mu\text{g/kg}$  de micotoxinas emergentes de *Fusarium* en músculo (Tolosa et. Al. 2014). Con tan solo estos datos no parece adecuado realizar una caracterización del riesgo y por consiguiente una evaluación del riesgo debido las micotoxinas ingeridas por consumo de pescado, ya que serían necesarios más estudios y más amplios sobre la presencia de las diferentes micotoxinas en carne de pescado de acuicultura consumido en España.

Esto no implica que no se puedan sacar conclusiones y abordar la problemática de la realización de este tipo de evaluaciones. Además, hay que considerar que no solo

ingerimos este tipo de sustancias tóxicas a través del consumo de pescado, sino también al consumo de otros alimentos como los cereales, leche...Por lo tanto, una evaluación global sería necesaria, sobre todo sabiendo que la exposición real a micotoxinas existe en la UE (AFs =1ng/kg/día y FBs =250 ng/kg/día), esta tasa de exposición en la población es 100 veces mayor en África y Asia (Gonçalves et. al. 2016).

Aunque por falta de datos no se pueda llevar a cabo esta evaluación real del riesgo de micotoxinas en pescado piscifactorías, se ha intentado abordar el problema con el fin de aportar el mayor número de datos posibles. En la bibliografía científica existen evaluaciones estimadas del riesgo de diferentes micotoxinas en acuicultura. En ellas no se valoran los efectos sinérgicos de las diferentes micotoxinas y no emplean datos de la cantidad de micotoxinas presentes en el pescado llegando a conclusiones parecidas a las que aquí se presentan. Estas son principalmente que no se puede estimar una evaluación del riesgo real o que el de su presencia es bajo (Gonçalves et. al. 2016).

Para realizar una caracterización del riesgo lo más completa posible, al no encontrar datos sobre el LOAEL en humanos (nivel más bajo al que aparecen signos de toxicidad), para poder compararlos con los de presencia de micotoxinas en músculo (a recordar, solo se han realizado dos ensayos in vivo sobre una sola especie y solo para AFB1 y toxinas emergentes de *Fusarium*), se tienen en cuenta los datos de TDI y el NOAEL. Los valores de TDI, son valores más protectores que el LOAEL (Tabla 13) ya que se caracterizan por ser valores de seguridad en los que se ha demostrado que la ingesta prolongada del tóxico no es un riesgo. Y por lo tanto una ingesta en el pescado, real o estimada de micotoxinas por debajo de esta TDI nos puede ayudar a indicar que el riesgo es bajo.

Tabla 13: LOAEL en peces y posible estimación del LOAEL en humanos.

Micotoxina	LOAEL Peces $\mu\text{g/kg/día}$	Signo toxicológico principal	Estimación LOAEL Humanos $\mu\text{g/kg/día}^{(*)}$
<b>Deoxinivalenol</b>	300	Inmunosupresión y daño gastrointestinal	3
<b>Fumonisina B1</b>	5.000	Neurotóxica	50
<b>Zearalenona</b>	10.000	Trastorno reproductivo	100
<b>T2 + HT-2</b>	100	Leucopenia y dermatotóxica	1
<b>Ocratoxina A</b>	300	Nefrotoxicidad	3
<b>Aflatoxina B1</b>	200	Hepatotoxicidad	2
<b>Micotoxinas emergentes de <i>Fusarium</i></b>	200	Mala absorción de nutrientes	2

(\*) Para esta estimación se tiene en cuenta el factor de seguridad interespecie e interindividuo (SF100). El empleo de LOAEL no humano implica un error ya que supone que la especie humana es más sensible que los peces a las micotoxinas.

TDI y NOAEL, sí que pueden ayudar de una manera orientativa a darnos información sobre el riesgo, ya que, si no se supera los valores de ingesta diaria estimada de micotoxinas por consumo de pescado, el riesgo es bajo. Como se puede observar en la Tabla 14 estos datos no se superan, por lo que se corrobora lo que otros estudios dicen (Anater et. al. 2014, Nácher et. al. 2015, Gonçalves et. al. 2016), que actualmente el riesgo de ingesta de micotoxinas en la dieta por consumo de pescado o es bajo o no se puede determinar con los datos existentes.

Tabla 14: Porcentaje de micotoxinas en pienso para acuicultura, TDI y NOAEL.

Micotoxina	Presencia en pienso acuicultura (%)	TDI $\mu\text{g/kg/día}$	NOAEL $\mu\text{g/kg/día}$	Ingesta diaria estimada $\mu\text{g/kg/día}$
<b>Deoxinivalenol</b>	65	0,7	100	Sin datos
<b>Fumonisin B1</b>	65	1	200	Sin datos
<b>Zearalenona</b>	50	0,25	9.000	Sin datos
<b>T2 + HT-2</b>	30	0,1	10	Sin datos
<b>Ocratoxina A</b>	10	0,06	10	Sin datos
<b>Aflatoxina B1</b>	5	0,017	85	0,001*
<b>Micotoxinas emergentes de <i>Fusarium</i></b>	Sin datos	0,014	0,75	0,006*

\*Cálculo obtenido teniendo en cuenta el valor de 5 y 30  $\mu\text{g}$  micotoxina AFB1 y micotoxinas emergentes/ Kg de músculo respectivamente, el valor de 4,5 kg/año de consumo de pescado acuicultura por persona y un peso medio de 60 kg/persona.

Por lo tanto, se puede concluir que no existen datos suficientes para realizar una evaluación de riesgo real por ingesta de micotoxinas en pescado de acuicultura, y si intentamos realizar una aproximación a esta evaluación mediante la extrapolación de datos no tan específicos, el resultado es que no existe riesgo de padecer los efectos nocivos a largo plazo de la AFB1 y las micotoxinas emergentes de fusarium por el consumo de pescado. Ahora bien, esta evaluación del riesgo carece de cierto rigor debido a la escasez de estudios sobre la presencia de micotoxinas en pescado y estudios en dieta globales.

Finalmente, basándonos en el conocimiento de la acumulación de micotoxinas en ciertos órganos diana y en los resultados encontrados por El Sayed et al. (2009) y Tolosa et al. (2014), una recomendación para mitigar el efecto toxicológico y disminuir el riesgo de ingestión de micotoxinas en nuestra dieta es realizar una buena evisceración del



pescado, ya que la mayoría de micotoxinas se acumulan en el hepatopáncreas, hígado, y riñón.

La falta de consenso a la hora de realizar los análisis para calcular la presencia de micotoxinas en determinadas materias primas, así como en los alimentos preparados para el consumo humano, la dispar legislación en los diferentes regiones, el aumento del consumo de productos procedentes de la acuicultura, la disminución de la proteína animal y el aumento de la vegetal en las raciones para peces, dejan entrever un escenario futuro con un riesgo importante en cuanto a micotoxinas refiere. Además, el cambio climático nos hace pensar en una creciente presencia de micotoxinas en los alimentos, por lo que sería conveniente realizar una revisión de esta evaluación del riesgo en un futuro próximo.

## 8 CONCLUSIONES

Las conclusiones obtenidas mediante la realización de este trabajo son:

- Croacia y Albania son los países que limitan con el Mar Mediterráneo que dedican la mayor parte de su producción a pienso para especies acuáticas, en cambio, los principales productores de pescado de acuicultura son Turquía con el 33,6 % de la producción total, Grecia con el 24,7 %, Egipto con el 14,6% y España con el 6,0 %.
- La proporción de inclusión de proteína vegetal en las dietas para peces cada vez es mayor, constituyendo hasta un 75% de la dieta. Este hecho hace que la inclusión de materias primas contaminadas por micotoxinas sea cada vez más común, encontrándose fumonisinas, deoxinivalenol, zearalenona, aflatoxinas y ocratoxinas en más de la mitad de los piensos comerciales del sur de Europa, llegando incluso algunos estudios a indicar que el 94% de los piensos analizados contienen alguna micotoxina. Los cereales son los ingredientes que más micotoxinas contienen.
- En cuanto a la presencia de micotoxinas en el músculo de los peces comercializados, se describe que es de 4,25 µg de toxinas de *Fusarium* por kg. Las mayores cantidades de micotoxinas se acumulan en los órganos y la cabeza del animal, por eso se recomienda una buena evisceración antes de consumirlos.
- Aunque actualmente el consumo de pescado procedente de la acuicultura no supone un riesgo para el consumidor, cada vez más pescado de acuicultura llega a nuestras mesas y esto en los próximos años puede hacer aumentar el riesgo de ingestión de micotoxinas por consumo de carne de pescado. La mejora y unificación de los métodos de análisis de estas toxinas puede ofrecer más datos para poder evaluar mejor ese riesgo. Los límites legales se establecen de forma individual para cada micotoxina, pero lo normal es que haya coocurrencia de varias. Además, el efecto sinérgico de varias micotoxinas no está contemplado.

- Aunque la presencia de micotoxinas en productos de origen vegetal ha aumentado en los últimos años, los datos disponibles en la bibliografía científica sobre micotoxinas en pescado son escasos y provienen principalmente de estudios experimentales y no de estudios de mercado, por lo tanto, las conclusiones que se obtienen pueden no ajustarse a la realidad, siendo necesarios más estudios que se ajusten a la situación real actual, en especial de presencia de micotoxinas en pescado de consumo nacional.
- Fruto de este trabajo se presentó una comunicación en formato póster (Figura 19) en el congreso de Micofood celebrado en Zaragoza el verano de 2018. La cita correspondiente a este póster es: Cano, L., Ramos, A., Marín, S., & Molino, F., (2018). Presencia actual de micotoxinas en la acuicultura mediterránea. *Universitat de Lleida*.

## PRESENCIA ACTUAL DE MICOTOXINAS EN LA ACUICULTURA MEDITERRÁNEA



L. Cano, A.J. Ramos, V. Sanchis, S. Marín, F. Molino

Food Technology Department, University of Lleida, UTPV-XaRTA, Agrotecnio Center, Av. Alcalde Rovira Roure, 191, 25198 Lleida (Spain).



## OBJETIVOS:

- Conocer el estado actual de la acuicultura Mediterránea.
- Conocer la presencia de micotoxinas en dietas para peces.
- Conocer la presencia de micotoxinas en el músculo de los peces comercializados.
- Valorar el riesgo de la presencia de micotoxinas en acuicultura.

## Riesgo de la presencia de micotoxinas en piensos en UE (Biomin, 2017)



OTA	24%
FUM	51%
T-2	33%
DON	65%
ZEN	44%
Afla	16%

## Países productores de pienso (millones de Tm) (Alltech, 2017):



País	Producción (millones de Tm)
África	1,6
Asia Pacífico	26,7
Europa	5,9
América Latina	3,6
Oriente Medio	0,3
América Norte	1,8
TOTAL	39,9

## Incidencia (%) contaminación por micotoxinas en muestras de grano UE

AFLA (AFLA)		ZEARALENONA (ZEN)		DEOXYVALENOL (DON)		FUMONISINA (FUM)		OCRATOXINA (OTA)	
09/10	12/13	09/10	12/13	09/10	12/13	09/10	12/13	09/10	12/13
Nd	32	25	34	71	87	Nd	86	Nd	40
19	29	41	26	64	66	51	36	20	28
33	55	14	18	36	50	56	71	41	46
2009-2010 inversiones analizadas: n° 4327									
2010-2011: 2010									

2009/2010: muestras analizadas n°=4227

2012/2013: muestras analizadas n°=4289

## Efectos micotoxinas en la salud de los peces:

**TRICOTECENOS (DON, TOXINA T-2)**

- Reducción en el consumo de alimentos
- Menor tasa de conversión alimenticia
- Disminución del hematocrito
- Disminución hemoglobina en sangre

**OCRATOXINA A (OTA)**

- Menor tasa de conversión alimenticia
- Lesiones histopatológicas en el hígado
- Riñones pálidos e inflamados
- Necrosis células renales y hepáticas

**ZEARALENONA (ZEN)**

- Efecto estrogénico



**AFLATOXINAS (AFLA)**

- Lesiones hepáticas y necrosis
- Tumores hepáticos
- Anemia
- Polidex de las branquias
- Alteraciones en la coagulación

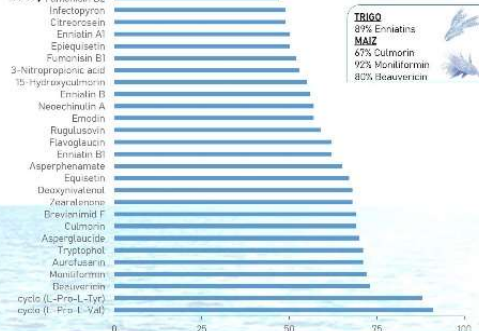
**FUMONISINAS (FUM)**

- Reducción de la eficiencia alimenticia
- Disminución del hematocrito
- Lesiones histopatológicas en hígado y riñón
- Lesiones en páncreas exocrino y endocrino

**MICOTOXINAS (TODAS)**

- Menor crecimiento
- Menor ganancia de peso
- Disminución de la respuesta inmune
- Aumento de la mortalidad

## % micotoxinas y metabolitos en muestras positivas (Biomin, 2017)



## Efectos tóxicos micotoxinas en peces acuicultura mediterránea:

Especie	Micotoxina	Dosis efectos tóxicos	Músculo	Hígado	Otros	Referencia
Lubina	Aflatoxinas	0,2 mg/kg				El-Sayed and Khalil, 2009
	Ocratoxina A	0,3mg/kg				El-Sayed and Khalil, 2009
	Fusarium emergentes	0,2mg FB/kg	4,2 µg /kg	17,7 µg ENB/kg	Cabeza-75,4 µg ENB/kg	Tolosa et al. 2014; El-Sayed & Khalil, 2009
Trucha	Deoxynivalenol	0,3-2,6 mg/kg				Pietsch et al. 2014
	Zearalenona	10mg/kg			Ovarios ~7,1±3,2µg ZEN/Kg	Woźny et al. 2013
Dorada	Ocratoxina A	4,7 mg/kg				Doster et al. 1972; Manning et al. 2003
	Fusarium emergentes			13,4 µg ENB/kg	Cabeza-15,9 µg ENB/kg	Tolosa et al. 2014

## Situación actual:

- La incorporación de **proteína vegetal a los piensos** para acuicultura puede constituir entre un 50 y un 75% de su dieta. Este **aumento** trae consigo un incremento del riesgo debido a la ingesta de micotoxinas, y por consiguiente una disminución de la productividad piscícola.
- La detección de estas **micotoxinas en piensos** desde 2010 está **aumentando**, encontrándose DON, FUM, ZEN, AFLA y OTA en más de la mitad de los piensos comerciales del sur de Europa, llegando incluso en algunos estudios a indicar que el 95% de los piensos analizados contienen alguna micotoxina (originada principalmente por *Fusarium* spp). Además, en el 95 % de los casos concurren al menos 10 micotoxinas y sus metabolitos.
- Estos datos han hecho que la **cuenca mediterránea** sea catalogada como **"zona de riesgo severo"** a la presencia de micotoxinas.
- La falta de técnicas estandarizadas para el análisis de micotoxinas y el escaso número de estudios comparativos **dificultan la evaluación del riesgo** que supone la posible transferencia de estas toxinas al **músculo de los peces**.
- El consumo anual de pescado en España es de 42 kg/persona (de los más altos del mundo) y el incremento de pescado de acuicultura a nuestra dieta **puede suponer en los próximos años un riesgo para la salud de los consumidores**.

Figura 19: Presencia actual de micotoxinas en la acuicultura mediterránea. Cano, L., Ramos, A., Marín, S. & Molino, F. (2018).

## 9 BIBLIOGRAFIA

1. AFHSE. (2015). Recomendaciones para la prevención, el control y la vigilancia de las micotoxinas en las fábricas de harinas y sémolas. *Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente*: 1-118.
2. Alltech. (2020a). Global Feed Survey. *Alltech Global Feed Survey*,2020:1- 8.
3. Alltech. (2020b). 2020 Global Feed Survey Data Collected in a Two-Part Survey Quantitative
4. Numerical data collected and Qualitative: Short answer responses. *Alltech Global Feed Survey*, 2020:1-27.
5. Anater, A., Manyes, L., Meca, G., Ferrer, E., Bittencourt, F., Turra, C., & Font, G. (2016). Mycotoxins and their consequences in aquaculture: A review. *Aquaculture*, 451: 1-10.
6. Anwar, H., & Tan, J. (2019). BIOMIN World Mycotoxin Survey 2019. *Biomin Mycotoxin Survey*,16: 1-7.
7. *Asociación Empresarial de Acuicultura de España. (2019). La acuicultura en España 2019. Informe APROMAR 2019, 1-91.*
8. Bagni, M., Crespi, V., & New, M. (2009). Programa de información de especies acuáticas. *Dicentrarchus labrax*. *FAO Fisheries and Aquaculture Department*, 74(70): 1-23.
9. Barac, A. (2019). Clinically Relevant Mycoses: Mycotoxins and Human Disease. *Springer Nature*,14: pp 213-225.
10. Biomin (2020). World Mycotoxin Survey January- March 2020. *Biomin Mycotoxin Survey*, 2020: 1-5.
11. CE (2006). Reglamento (CE) no 401/2006 de la Comisión, de 23 de febrero de 2006, por el que se establecen los métodos de muestreo y de análisis para el control oficial del contenido de micotoxinas en los productos alimenticios. *Diario oficial de la Unión Europea*.
12. CE (2006). Reglamento (CE) no 1881/2006 de la Comisión, de 19 de diciembre de 2006, por el que se fija el contenido máximo de determinados contaminantes en los productos alimenticios. *Diario oficial de la Unión Europea*.
13. Chen, H., Hu, J., Yang, J., Wang, Y., Xu, H., Jiang, Q., Song, H. (2010). Generation of a fluorescent transgenic zebrafish for detection of environmental estrogens. *Aquatic Toxicology*, 96:53-61.
14. Colloca, F.,& Cerasi, S.(2009). Programa de información de especies acuáticas:*Sparus aurata*. *FAO Fisheries and Aquaculture Department*, 9: 11-15.

15. Denli, M., & Pérez, J. F. (2006). Contaminación por micotoxinas en los piensos: Efectos, tratamiento y prevención. *Avances en nutrición y alimentación animal*, 2015: 1-17.
16. EFSA. (2007). Opinion of the scientific panel on contaminants in the food chain on request from the comission related to the potential increase of consumer health risk by a possible increase of the existing maximum levels for aflatoxins in almonds, hazelnuts and pis. *The EFSA Journal*, 446:1-127.
17. EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain (2014). Scientific Opinion on the risks to human and animal health related to the presence of beauvericin and enniatins in food and feed. *EFSA Journal*, 12:1-174.
18. El-Sayed, Y.S., Khalil, R.H., Saad, T.T. (2009). Acute toxicity of ochratoxin-A in marine water-reared sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.). *Chemosphere*, 75: 878-882.
19. Ferrer, E., Tolosa, J., Font, G., & Mañes, J. (2017). Mitigation of enniatins in edible fish tissues by thermal processes and identification of degradation products. *Food and Chemical Toxicology*, 101:67-74.
20. Gonçalves, R.A., Naehrer, K., & Santos, G.A. (2016). Occurrence of mycotoxins in commercial aquafeeds in Asia and Europe: A real risk to aquaculture?. *Reviews in Aquaculture*, 0:1-18.
21. Gimeno, A. & Ligia-Martin, M. (2003). Riesgos de Micotoxicosis que algunas Micotoxinas (Como Contaminantes de los Alimentos) Pueden Provocar en Humanos. Revisión y actualización del trabajo que con el titulo "Análisis de riesgo de las más relevantes micotoxicosis en humanos". *Special Nutrients, Inc. USA*: 1-15.
22. Gimeno, A. (2014). Micotoxinas en alimentos de origen avícola. Su impacto en la salud humana. Prevención y control. Documento de apoyo de la ponencia presentada en las Jornadas Profesionales de Avicultura del 25 al 28 de Marzo de 2014 en Sevilla (España) con el título que indica el artículo: 1-25.
23. Gonçalves, R. A., Navarro-Guillén, C., Gilannejad, N., Dias, J., Schatzmayr, D., Bichl, G., Czabany, T., Moyano, F.J., Rema, P., Yúfera, M., Mackenzie, S., Martínez-Rodríguez, G. (2018). Impact of deoxynivalenol on rainbow trout: Growth performance, digestibility, key gene expression regulation and metabolism, *Aquaculture*, 490: 362-372.



24. González-Serrano, J. L. (1999). Evolución histórica y situación actual de la acuicultura en el mundo y en España. *Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación*: 91-158.
25. Izquierdo, M. S., Turkmen, S., Montero, D., Zamorano, M. J., Afonso, J. M., Karalazos, V., & Fernández-palacios, H. (2015). Nutritional programming through broodstock diets to improve utilization of very low fish meal and fish oil diets in gilthead sea bream. *Aquaculture*, 449:18-26.
26. Josefa Tolosa Chelós. (2017). Tesis Doctoral Internacional: Evaluación de la presencia de micotoxinas en alimentos y piensos y su mitigación culinaria. *Universitat de València*:1-401
27. Marin, S., Ramos, A. J., Cano-Sancho, G., & Sanchis, V. (2013). Mycotoxins: Occurrence, toxicology, and exposure assessment. *Food and Chemical Toxicology*, 60:218-237.
28. Marín, S., Sanchis, V., & Ramos, A. J. (2018). A review of the mycotoxin adsorbing agents, with an emphasis on their multi-binding capacity, for animal feed decontamination. *Food and Chemical Toxicology*, 114:246-259.
29. Ministerio de Agricultura, P. y A. (2019). Informe del consumo alimentario en España 2018. *Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación*: 1-538.
30. Moraleja, A.G. (2016). Tesis Doctoral Internacional: Analysis and risk assessment of mycotoxins in coffee. *Universitat de València*: 1- 294.
31. Náchter-Mestre, J., Serrano, R., Beltrán, E., Pérez-Sánchez, J., Silva, J., Karalazos V., Hernández, F., Berntssen, M. H.G. (2015). Occurrence and potential transfer of mycotoxins in gilthead sea bream and Atlantic salmon by use of novel alternative feed ingredients. *Chemosphere* 128:314-320.
32. Oliveira, M., & Vasconcelos, V. (2020). Occurrence of Mycotoxins in Fish Feed and Its Effects : A Review. *Toxins*, 160:1-23.
33. Omotayo, O. P., Omotayo, A. O., Mwanza, M., & Babalola, O. O. (2019). Prevalence of Mycotoxins and Their Consequences on Human Health. *Toxicological Research*, 35: 1-7.
34. OMS. (2017). Herramienta de evaluación de riesgos para la salud humana de la OMS: Peligros químicos. *Organización Mundial de la Salud*, 8: 1-110.
35. Ortega, A. (2008). Cultivo de Dorada (*Sparus aurata*). *Cuadernos de Acuicultura. OESA*. 1: 1-45.
36. Nemanja, T., Raj, J., Vasiljevic, M. (2009). Acuicultura: Información por especies. *Patent Co Serbia*, 1–13.

37. Pietsch, C. (2020). Risk assessment for mycotoxin contamination in fish feeds in Europe. *Mycotoxin Research*, 36: 41-62.
38. Sanchís V, Martí S, Ramos AJ (2004). Micotoxinas y seguridad alimentaria. *Alimentación, Nutrición y Salud*, 1:17-23.
39. Serrano, A. B. (2015). Tesi Doctoral Internacional: Risk assessment of mycotoxins in cereals. *Universitat de València*: 1-510.
40. Tacon, A. G. J., & Metian, M. (2008). Global overview on the use of fish meal and fish oil in industrially compounded aquafeeds: Trends and future prospects. *Aquaculture*, 285: 146-158.
41. Tolosa, J., Font, G., Man, J., & Ferrer, E. (2014). Natural Occurrence of Emerging Fusarium Mycotoxins in Feed and Fish from Aquaculture. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 62: 12462-12470.
42. UE (2006). Recomendación (UE) de la Comisión 2006/576/CE de 17 de agosto de 2006 sobre la presencia de deoxinivalenol, zearalenona, ocratoxina A, toxinas T-2 y HT-2 y fumonisinas en productos destinados a la alimentación animal. *Diario oficial de la Unión Europea*.
43. UE (2013). Recomendación (UE) no 2006/576/CE de la Comisión de 27 de marzo de 2013 sobre la presencia de las toxinas T-2 y HT-2 en los cereales y los productos a base de cereales. *Diario oficial de la Unión Europea*.
44. UE (2016). Recomendación (UE) 2016/1319 de la Comisión de 29 de julio de 2016 que modifica la Recomendación 2006/576/CE por lo que se refiere al deoxinivalenol, la zearalenona y la ocratoxina A en los alimentos para animales de compañía. *Diario oficial de la Unión Europea*.
45. UE (2010). Reglamento (UE) no 165/2010 de la Comisión de 26 de febrero de 2010 que modifica, en lo que respecta a las aflatoxinas, el Reglamento (CE) no 1881/2006 por el que se fija el contenido máximo de determinados contaminantes en los productos alimenticios. *Diario oficial de la Unión Europea*.



## 10 LISTA DE ABREVIATURAS

**AESAN** Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición

**AFs** Aflatoxinas

**AFB1** Aflatoxina B<sub>1</sub>

**AFB2** Aflatoxina B<sub>2</sub>

**AFG1** Aflatoxina G<sub>1</sub>

**AFG2** Aflatoxina G<sub>2</sub>

**AFHSE** Asociación de Fabricantes de Harinas y Sémolas de España

**APROMAR** Asociación Empresarial de Acuicultura de España

**BEA** Beauvericina

**CE** Comunidad Europea

**DON** Deoxinivalenol

**EFSA** Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria

**ENNs** Eniatinas

**ENA** Eniatina A

**ENA1** Eniatina A1

**ENB** Eniatina B

**ENB1** Eniatina B1

**FAO** Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura

**FBs** Fumonisin

**FEAP** Federation of European Aquaculture Producers

**GnRH** Hormona liberadora de gonadotropina

**HT-2** Toxina HT-2

**IDA** Ingesta diaria admisible

**IDT/TDI** Ingesta diaria tolerable

**LHRH** Hormona liberadora de la hormona luteinizante

**LOAEL** Cantidad más baja de micotoxina que produce un efecto adverso observable

**MAPA** Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación

**NOAEL** Cantidad de toxina ingerida que no supone la observación de ningún efecto adverso

**OESA** Observatorio español de acuicultura

**OTA** Ocratoxina A

**T-2** Toxina T-2

**UE** Unión Europea

**ZEN** Zearalenona

**$\alpha$ -ZOL**  $\alpha$ -zearalenol

## 11 ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1:</b> Mohos, micotoxinas y alimentos donde se encuentran. Fuente: Sanchís V, Martí S, Ramos AJ (2004).....	10
<b>Tabla 2:</b> Millones de toneladas de pienso producidas los años 2018 y 2019 por regiones. Fuente: Alltech, 2020b. ....	29
<b>Tabla 3:</b> Producción de pienso por especies. Datos obtenidos de Alltech 2020. ....	30
<b>Tabla 4:</b> Millones de toneladas de pienso producido para acuicultura por regiones. Adaptación de Alltech 2020 y Alltech 2018. ....	31
<b>Tabla 5:</b> Producción estimada de pienso total, producción estimada de pienso para acuicultura y porcentaje de pienso para acuicultura respecto al total de cada país mediterráneo en millones de toneladas. Datos obtenidos del mapa interactivo de Alltech 2020. ....	34
<b>Tabla 6:</b> Incidencia (%) de contaminación por micotoxinas en muestras de grano en Europa donde N.A y O.M corresponden a Norte de África y Oriente Medio y E a Europa. Adaptación de encuestas Biomin de los años 2010, 2018 y 2020. ....	37
<b>Tabla 7:</b> Niveles máximos recomendados de contaminación por micotoxinas en alimentos para animales con relevancia para peces según el Reglamento (CE) no 1881/2006 de la Comisión de 19 de diciembre de 2006 por el que se fija el contenido máximo de determinados contaminantes en los productos alimenticios y Recomendación de la Comisión de 27 de marzo de 2013 sobre la presencia de las toxinas T-2 y HT-2 en los cereales y los productos a base de cereales. Fuente: Pietsch (2020).(1) No para terneras, ovejas, cabras, cerdos y aves de corral.(2) Excepto los que llevan maíz. (3) excepto salvado de avena. ....	39
<b>Tabla 8:</b> Tabla de riesgo y prevalencia en diferentes regiones mediterráneas. Fuente: Adaptación del mapa Global map of mycotoxin prevalence (Biomin, 2019). ....	40
<b>Tabla 9:</b> Efectos de las micotoxinas. Fuente: Anwar & Tan, 2019. ....	42
<b>Tabla 10:</b> Efectos tóxicos en dorada y lubina. ....	45
<b>Tabla 11:</b> Efectos sobre la salud de los consumidores causado por las principales micotoxinas. Adaptación de (Omotayo O.P., Omotayo A.O. , Mwanza M., & Babalola O.O., 2019).....	46
<b>Tabla 12:</b> Valores encontrados de micotoxinas en pienso compuesto para acuicultura. Fuente: Gonçalves 2016.....	53

**Tabla 13:** LOAEL en peces y posible estimación del LOAEL en humanos. .... 55

**Tabla 14:** Porcentaje de micotoxinas en pienso para acuicultura, TDI y NOAEL. .... 56

## 12 ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Estructura molecular de las aflatoxinas B1, B2, G1 y G2. Fuente: Marin et al., 2013. ....	12
<b>Figura 2:</b> Estructura molecular de la zearalenona. Fuente: Marin et al., 2013. ....	13
<b>Figura 3:</b> Estructura molecular de las toxinas T-2 y HT-2. Fuente: Marin et al., 2013. ....	14
<b>Figura 4:</b> Truchas arco iris con diferencias visuales en el crecimiento entre diferentes dietas. De izquierda a derecha: Control, DON 5 (4,5 ppm DON) y DON 11 (10,5 ppm DON). No se observan signos clínicos excepto la acentuada anorexia en DON 11. Fuente: Gonçalves et al., 2018. ....	15
<b>Figura 5:</b> Estructura molecular de la Fumonisina B. Fuente:(Marin et al., 2013). ....	16
<b>Figura 6:</b> Estructura molecular de la ocarotoxina A. Fuente: Marin et al., 2013. ....	17
<b>Figura 7:</b> Estructura molecular de la beauvericina y las eniatinas: Eniatina A (ENA), eniatina A <sub>1</sub> (ENA <sub>1</sub> ), eniatina B (ENB), eniatina B <sub>1</sub> (ENB <sub>1</sub> ), beauvericina (BEA). Fuente: (Tolosa et al., 2014). ....	18
<b>Figura 8:</b> Ilustración de un ejemplar de Sparus aurata. Fuente: (Colloca & Cerasi, 2009). ....	21
<b>Figura 9:</b> Ilustración de un ejemplar de Dicentrarchus labrax. Fuente: FAO 2009. ....	23
<b>Figura 10:</b> Uso y demanda global estimada en miles de toneladas para harina y aceite de pescado que componen los piensos para piscicultura de agua salada des de 1995 hasta 2020. Datos obtenidos de la tabla 4 de Tacon & Metian, 2008. ....	27
<b>Figura 11:</b> Principales países productores de pienso. Datos obtenidos de Alltech (2020). ....	32
<b>Figura 12:</b> Evolución de la producción (tn) de dorada de acuicultura en el área mediterránea y el resto del mundo en el período 1985-2019 sobre datos FAO, FEAP y APROMAR. Fuente: (APROMAR, 2019). ....	33
<b>Figura 13:</b> Evolución de la producción (tn) de lubina de acuicultura en el área mediterránea y el resto del mundo en el período 1985-2019 sobre datos FAO, FEAP y APROMAR. Fuente: (APROMAR, 2019). ....	33
<b>Figura 14:</b> Contenido estimado de micotoxinas en µg por kg de pienso para peces calculado a partir de datos de la literatura de acuerdo con el escenario medio. Fuente: Pietsch, 2020. ....	36

<b>Figura 15:</b> Porcentaje de micotoxinas y metabolitos en muestras positivas. Fuente: Biomin 2020.....	38
<b>Figura 16:</b> Porcentaje de muestras contaminadas por micotoxinas en el norte de África en enero- marzo 2020 y enero-marzo 2019. El color de los animales indica el riesgo que representa para esta especie la prevalencia y la concentración de micotoxinas en todas las muestras de esta región (azul claro =moderado a azul oscuro = extremo). Fuente: (BIOMIN, 2020).....	41
<b>Figura 17:</b> Porcentaje de muestras contaminadas por micotoxinas en Europa en enero-marzo 2020 y enero-marzo 2019. El color de los animales indica el riesgo que representa para esta especie la prevalencia y la concentración de micotoxinas en todas las muestras de esta región (azul claro =moderado a azul oscuro = extremo). Fuente: (BIOMIN, 2020).....	41
<b>Figura 18:</b> Efecto de las micotoxinas en la salud de los peces.....	43
<b>Figura 19:</b> Presencia actual de micotoxinas en la acuicultura mediterránea. Cano, L., Ramos, A., Marín, S. & Molino, F. (2018).....	60